NOTE

AD UN CORSO ANNUALE DI GEOLOGIA

DETTATE

PER USO DEGLI INGEGNERI ALLIEVI
DEL REALE ISTITUTO TECNICO SUPERIORE DI MILANO

DA

ANTONIO STOPPANI

PARTE TERZA

GEOLOGIA ENDOGRAFICA

Prezzo Lire 6. 50

MILANO
TIPOGRAFIA DI GIUSEPPE BERNARDONI
1870.

Digitized by Google

NOTE

AD UN CORSO ANNUALE DI GEOLOGIA

DETTATE

PER USO DEGLI INGEGNERI ALLIEVI
DEL REALE ISTITUTO TECNICO SUPERIORE DI MILANO

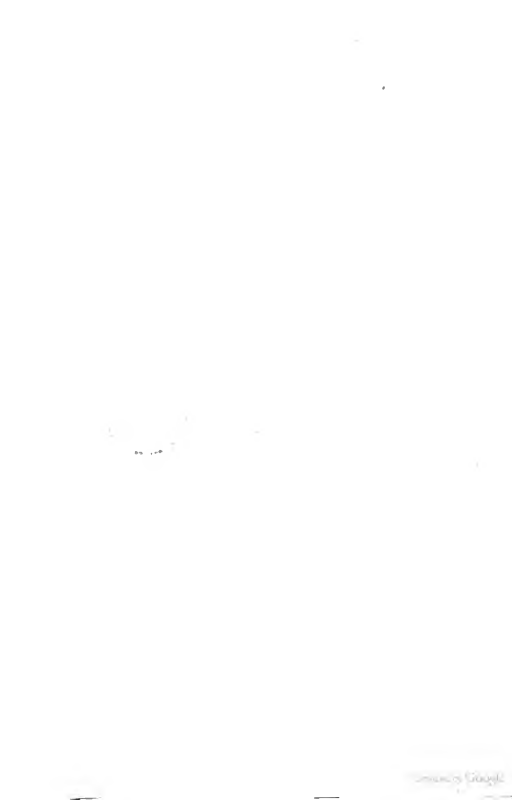
DA

ANTONIO STOPPANI

PARTE TERZA

GEOLOGIA ENDOGRAFICA

MILANO
TIPOGRAFIA DI GIUSEPPE BERNARDONI
1870.

Digitized by Google

I. Oggetto della endografia.

A che ci condusse la geologia stratigrafica? 1. — *Che attenderci dall'applicazione dello studio delle forze endogene?* 2. — *Potenza dalle formazioni cristalline*, 3. — *Loro caratteri*, 4. — *L'Endografia*, 5. — *Cenno storico sullo sviluppo di questo ramo della geologia*, 6. — *Scopo che si propone*, 7.

1. Lo studio di quella enorme pila di strati, i quali rappresentano altrettanti fondi marini o, assai più limitatamente, fondi lacustri, letti di fiume, detriti glaciali o altri depositi o subacquei o terrestri, di cui ciascuno rappresenta una parte della superficie del globo, le mille e mille volte rifatta, e istoriata dagli agenti esterni, che insistettero immutabili nella loro azione modificatrice, e dai viventi, che, sempre varî, si rimutarono successivamente nel suo dominio; lo studio, dico, della geologia stratigrafica, ci ha detto una gran parte della storia della terra. Il principale risultato fu quello di aver potuto riconoscere una serie di terreni, e quindi stabilire una cronologia stratigrafica, per cui, dagli abissi più tenebrosi del tempo, rimontiamo, senza mai perdere il filo degli avvenimenti, fino all' epoca luminosa, in cui il primo uomo fu chiamato a stampare le sue orme nella polvere, che cela tanta serie di mondi. Noi abbiamo già quindi una base, a cui coordinare quei fatti, che, estranei per natura, eppur paralleli ai grandi fenomeni della sedimentazione e della vita, ebbero sovr'essi una grande influenza, ne fissarono le condizioni, e vennero svolgendo un'altra serie di rivoluzioni e di cambiamenti, un'altra storia della terra; storia, non più della superficie, ma di quel mondo interno, che, gelosamente celato all'occhio d'ogni vivente, si svela allo sguardo penetrante della umana ragione.

2. Richiamo il lettore a quel punto (*Parte seconda*, § 1033) in cui, riassumendo le nozioni acquistate collo studio della *Geologia stratigrafica*, accennava all'immenso campo, che ci rimane ancora a percorrere. Una serie numerosissima di formazioni, che entrano colle rocce sedimentari nella composizione della crosta terrestre, ci rimaneva inesplorata. Così una serie di interne rivoluzioni telluriche, accusate come effetti dalle condizioni degli strati, ci restava ignota quanto alle cause. Era però

Digitized by Google

a presumersi che nelle formazioni inesplorate si celasse il segreto delle cause agenti nelle rivoluzioni interne, e che, come le rocce sedimentari ci manifestarono gli avvenimenti che si succedettero sulla superficie del pianeta, così le rocce composte o cristalline, che non trovano riscontro negli attuali sedimenti, ci avrebbero illuminati sugli avvenimenti, che, o si compirono nell'interno, o vi ebbero radice. E siccome la stratigrafia ci si era fatta parlante coll'applicazione di quella parte della *dinamica terrestre* che verte sull' azione delle *forze esogene*, così potevamo attenderci che rispondessero le formazioni non stratificate coll' applicazione di quell' altra parte, che studia le *forze endogene*.

3. Ora ci siamo. Che ci dicono quelle masse informi? quei colossali impasti cristallini? que'graniti, quelle dioriti, que'porfidi, quei basalti, che ora si spiccano in vertiginose aguglie, nascenti dai campi delle nevi eterne, ora sembrano squarciare le ingenti pile di strati, che pajono dall'urto villano così rotte, contorte, scomposte; ora gli stessi terreni di sedimento ricoprono come pesante tettoja; ora s'insinuano fra essi, e si fingono fratelli agli strati?

Perduto il doppio filo della stratigrafia e della paleontologia, a cui ci affidavamo con tanta sicurezza entro i labirinti del passato, dobbiamo sentirci impensieriti d' aver ancora tanto cammino a percorrere per uscirne. L'estensione superficiale e la potenza delle formazioni cristalline non la cedono a quella delle formazioni di vero sedimento. Consultando l' unico abbozzo di *carta geologica della terra*, pubblicato da J. Marcou, possiamo calcolare che le rocce cristalline o *composte* si mostrino sopra $^1/_4$ circa della superficie terrestre. Aggiungi che, mentre il lavoro tutto recente dei ghiacciai e de' fiumi diede ai dominî sedimentarî una estensione che potrebbesi dire fittizia; le rocce composte si ristettero a mostrare la loro potenza, piuttosto che nella superficiale estensione, nella mole compatta delle grandi catene, la cui ossatura ne è in gran parte composta.

Un altro riflesso in favore della potenza delle rocce composte, e che ne accresce immensamente l' importanza geologica è questo: che la maggior parte delle rocce sedimentari, tutta quasi la categoria delle rocce aggregate origina dalle composte, attestando l' esistenza, e rappresentando la demolizione, di moli sterminate, che si ergevano superbe nella serie dei tempi, e furono man mano rose, e disperse sul fondo del mare.

4. Abbiamo già accennato ai caratteri generali, per cui le rocce composte differiscono radicalmente dalle sedimentari (*Parte seconda*, § 310). Prescindendo ora dal giustificare, contro le eccezioni che si possono fare a diritto o a torto, eccezioni di cui ci occuperemo a suo luogo abbondantemente, i caratteri che noi consideriamo come essenziali, la distinzione tra le rocce sedimentari finora studiate, e le composte che ci restano da studiare, si può stabilire così: — le rocce sedimentari sono rocce semplici od aggregate, stratificate, fossilifere: quelle di cui intraprendiamo lo studio sono rocce composte, ossia impasti cristallini, anzi di cristalli, non stratificate, non fossilifere.

5. Se quella parte della geologia che si occupa delle formazioni antiche, dovute alle *forze esogene*, fu, con nome communemente adottato, detta *Stratigrafia*; quella parte della stessa scienza, che studia le formazioni antiche, le quali *a priori* devono ripetersi dalla azione delle *forze endogene*, la chiameremo *Endografia*.

Se introduco un nome nuovo, l' unica ragione si è che non ne trovai uno in corso nel linguaggio geologico. Senza pretendere per nulla ad una scienza nuova, chè la missione di chi scrive un libro elementare è quella piuttosto di raccogliere e

coordinare i veri, che di scoprirli, non dirò forse troppo, se chiamo questa *Parte terza* della mia opera un primo tentativo di coordinare in un corpo di scienza i bellissimi studî, con cui in questi ultimi anni si tentò di penetrare il mistero di quella vita interna del globo, che si produsse all'esterno in una serie infinita di rivoluzioni. Nei migliori trattati di geologia, non esclusi quelli di Lyell, di Dana, di Naumann, quella, che noi diciamo *Endografia*, o si fonde colla *Stratigrafia*, o vi figura come una appendice. Noi torniamo così allo speciale intento, a cui si volse la geologia al primo suo nascere.

6. Fu primo Leonardo da Vinci, il genio più enciclopedico che vanti l'Italia, il primo che, con concise ma chiare parole affermò il gran fatto che i fondi marini furono sollevati all'altezza dei monti, sicchè *ciò che era un tempo fondo di mare, è divenuto sommità di monti* (Venturi, *Essai sur les ouvrages de Léonard da Vinci*, Paris, 1797). Egli scriveva verso il 500, e come primo enunciava questo fatto fondamentale della *geologia pratica*, primo, proponendone una spiegazione, iniziava la *geologia teorica*. Nella lotta in cui si dibatterono i più o men degni successori di Leonardo da Vinci, non si fece altro che o negare questo fatto, o tentarne la spiegazione. La paleontologia si riduceva allora poco più che all'affermazione del fatto, che negli strati componenti la crosta del globo, giacevano, come sopra il natio letto subacqueo, le spoglie degli animali marini; e questo fatto reclamava una spiegazione. Nè si tardò ad accorgersi che la si doveva ripetere dalle intestine convulsioni del globo. Lazzaro Moro trionfa sopra tutti, e per confessione di tutti. Egli proclama e dimostra che le montagne traggono origine dalla forza espansiva dell'interno del globo, e che questo fatto si collega con quelli dei vulcani e dei terremoti: fu sotto l'impulso di questa forza che emersero le moli dei continenti, stringendo il mare entro sempre più angusti confini; sono effetti di questa forza le dislocazioni, i salti, le contorsioni. Le celebri teoriche di Hutton si legano e si identificano con quelle di Lazzaro Moro. Werner, volendo prescindere dalle forze che agiscono nell'interno del globo, e tutto ripetere dalla azione esterna delle acque, crea un formidabile antagonismo. Il mondo de'geologi lotta diviso in due schiere. Ma *plutonisti* o *nettunisti*, tutti mirano allo stesso scopo: spiegare le rivoluzioni del globo e dire il perchè i monti non sieno, per così grande parte, che accumulazioni di fondi marini. Ma la causa dei nettunisti sembra perduta per sempre. De Buch e E. de Beaumont imperano colle loro teorie plutoniche. I geologi, sicuri ormai che le montagne si sollevarono, come tumide vesciche, sotto l'impeto de' vulcani, si buttano, corpo perduto, in traccia delle reliquie delle antiche popolazioni in seno agli strati. Le indagini paleontologiche creano la *geologia stratigrafica*, ramo gigante, che cresce assai più robusto della pianta, da cui s'era spiccato. Ma i primi problemi rimangono problemi. Il geologo vi narra per filo e per segno la storia delle rivoluzioni, che si effettuarono sulla superficie del globo; ridesta dalla polvere le mille generazioni dei viventi, che apparvero e sparvero; dai primi albori della vita ascende fino al meriggio del mondo presente, ma non sa ancora perchè sorsero i monti; non sa ancora qual vita ferve nell'interno del pianeta. Dopochè tanta luce fu sparsa sulle esterne rivoluzioni e sulla storia della spente generazioni, rinasce più vivo il bisogno di sapere quali rivoluzioni si succedettero nell'interno, di sapere perchè sorsero i monti; perchè si compongano, non solo di strati fossiliferi, ma di masse cristalline prive di reliquie organiche; perchè in seno ai monti serpeggiano, quasi vivi, i filoni metalliferi; perchè infine tanti fenomeni, che punto non si spiegano coll'attività sedimentare delle acque. Ai nuovi richiami, si ridesta la lotta tra i *nettunisti* e *plutonisti*, che si credeva

Digitized by Google

spenta. Se Scrope impugnava, ancor non nata, la teoria dei *crateri di sollevamento*, sacro delubro de' plutonisti; Lyell la combatteva all'apogeo de' suoi trionfi. Più ancora Scrope, Scheerer, Bischof, Delesse e altri, rendevano palese la parte attivissima che prendeva l'acqua in quell'interno lavoro, che si credeva tutto in balia del fuoco. La scuola sperimentale, composta di uomini, che intendono pazienti a cogliere la natura sul fatto ne' suoi misteriosi lavori, e alla testa dei quali crediamo di scorgere Daubrée, sembra che prepari la conciliazione tra i *plutonisti* e i *nettunisti* nella unità di un vero, che riunisce quanto di vero si raccolse, e si sostenne dalle due scuole. Se non crediamo di ottenerla sì presto, speriamo almeno di affrettarla, raccogliendo e ordinando a tale scopo, nel presente volume, quanto stimiamo di vero, o almeno di probabile, circa i fenomeni che si operano nell' interno, o dall' interno ebbero origine.

7. L'*Endografia* è dunque quella parte della geologia, che dallo studio delle manifestazioni dalle forze interne deduce i fenomeni che si operarono pure nell' interno, o dall' interno, nel corso di tante epoche. È lo studio dello sviluppo della vita intima del globo; è la storia delle interne rivoluzioni, da cui dipendono le rivoluzioni che rimutarono tante volte la faccia del globo, e a cui tenner dietro, con misterioso parallelismo, le rivoluzioni dei viventi.

Digitized by Google

II. Genesi eruttiva delle rocce composte dedotta dalla loro struttura, e giacimento e dalle rocce intercluse.

Richiamo dei precedenti sui caratteri delle rocce composte, 8. — *Come ne cercheremo l'origine*, 9. — *Le rocce cristalline hanno l'aspetto delle lave*, 10. — *Rapporti tra le forme speciali di lave e di rocce cristalline*, 11. — *Identità di struttura*, 12. — *Struttura criptocristallina*, 13. — *Struttura porfiroide*, 14, 15. — *Si verifica anche pe' serpentini*, 16. — *Definizione generale delle rocce vulcaniche*, 17. — *Stretta analogia di composizione mineralogica tra le lave e le rocce cristalline*, 18. — *Identità del modo di giacitura*, 19. — *Isolamento e allineamento delle masse cristalline*, 20. — *Esempio preso dall'Appennino*, 21. — *Altri dalle provincie del Reno*, 22. — *Il dicco come forma eminentemente caratteristica*, 23. — *Origine dei dicchi*, 24. — *Esempî di dicchi trappici e porfirici*, 25. — *Dicchi granitici*, 26. — *Dicchi di serpentino*, 27. — *L'origine eruttiva del dicco e delle rocce cristalline in genere dimostrata dagli pseudoconglomerati e dalle rocce intercluse*, 28. — *Il Vesuvio*, 29. — *Lave dell'Eifel*, 30. — *Specialità del lago di Laach*, 31. — *Interclusioni nelle trachiti, nei basalti, nei Grünstein*, 32. — *Interclusioni nei porfidi*, 33. — *Nei graniti*, 34-36. — *Gli interclusi non sono frammenti sedimentari*, 37. — *Non sono concrezioni*, 38. — *Interclusioni nei serpentini d'Italia*, 39.

8. Le rocce, sul cui studio si fonda principalmente la geologia endografica, furono da noi già descritte (*Parte seconda*, §§ 196-245). Abbiamo anche veduto come si atteggino talora in grandi masse, costituendo delle *formazioni massicce*, talora in masse ristrette, sotto forma di *dicco*, di *filone*, di *vena*. Abbiamo anche accennato ai rapporti fondamentali di *sovrapposizione* o di *interclusione* che si verificano fra le rocce massicce e le stratificate (*Ivi*, Cap. VIII). Ma quando fummo al punto di cercare l'origine di quelle *rocce*, di quelle *formazioni*, abbiamo lasciata sospesa ogni indagine, seguendo invece quella via che ci veniva dischiusa dall'avere scoperto l'origine delle *rocce* e delle *formazioni sedimentari*. Noi ci accorgemmo già fin d'al-

Digitized by Google

lora infatti come ben diversa dovesse scoprirsi l'origine delle *rocce composte* da quella delle *semplici* od *aggregate*. Nelle *rocce composte*, noi dicevamo, non si trovano più nè la semplicità delle rocce idrotermali o organiche, nè la mistura delle rocce aggregate dall'azione meccanica delle acque: le *rocce composte*, constando in genere di una miscela cristallina, o piuttosto di cristalli, non essendo stratificate, non essendo fossilifere, non potevano aver nulla di commune col duplice gruppo delle *rocce sedimentari*, i cui caratteri essenziali sono la stratificazione o la presenza dei fossili (*Parte seconda*, § 310).

9. Dobbiamo dunque ricondurci a quel punto, e domandarci dapprima, come abbiamo fatto per le formazioni sedimentari: quale è l'origine delle *rocce composte* e delle *formazioni* che ne risultano?

Fedeli al nostro metodo, la cercheremo nei rapporti di quelle rocce e di quelle formazioni, con rocce e formazioni che si producono ancora sotto ai nostri occhi. Cominciando dai rapporti di struttura e di composizione, passeremo a quelli di giacitura e delle accidentalità che i giacimenti presentano, terminando poi coi rapporti stabiliti dalla uguaglianza degli effetti metamorfici. In questo breve studio comparativo, che lascerà luogo a molti ritorni in seguito, ove gioverà meglio trattare le molte e complicate questioni dell'endografia, noi ci proponiamo di dimostrare l'identità d'origine tra le diverse rocce cristalline, siano lave eruttate dai moderni vulcani, siano graniti che si associano alle formazioni che prevennero l'aurora della vita.

10. Le rocce composte o cristalline trovano nei prodotti attuali della natura qualche cosa che loro si assomigli? certamente.... le lave. Bisogna che il lettore si richiami quanto abbiamo detto brevemente circa la struttura delle lave vulcaniche, o siano lanciate in forma di piogge di ceneri e grandini di lapilli, di pietre, di scorie, di bombe, o si riversino in forma di ignee correnti (*Parte prima*, § 825). Non vogliamo qui risuscitare la questione se le lave divennero granulose o cristalline per un'azione posteriore alla loro eruzione, o se, come abbiamo evidentemente dimostrato, escano già tali dal cratere. In questo fatto, che io reputo come assolutamente fondamentale della endografia, insisterò piu tardi a miglior uopo. Qui trattasi di osservare se le rocce cristalline presentino i caratteri di struttura e tutti i modi di essere che distinguono le lave.

Chiunque, libero da idee preconcette, esamini una collezione di lave e la confronti con una di rocce cristalline, deve rimaner colpito da quella somiglianza, da quell'aria di famiglia che le une e le altre avvicina, e non troverà punto strano che altri gli dica, che tutte quelle rocce sono sorelle d'origine, che tutte ugualmente, benchè in epoche diverse, uscirono dalle viscere della terra. Io credo che l'impressione, prodotta da quelle collezioni in chi è ignaro della scienza, e non esercitato nei confronti, non è diversa da quella che devesi produrre nello scienziato, il quale sa benissimo distinguere una trachite da un granito, un leucitofiro da un porfido. Se certe idee sistematiche non ci avessero fuorviati, io credo che nessuno avrebbe mai rinnegato ciò che si vede così evidente, ciò che in fine condusse tutti i geologi a ritenere, o almeno a sospettare che, in genere, quelle rocce cristalline, anche i graniti, anche i serpentini fossero *eruttivi*.

11. Chi visita un distretto vulcanico, o esamina una collezione, potrà essere più facilmente tratto a fermar l'attenzione su certe forme delle lave, per esempio sulle obsidiane o vetri vulcanici, sulle scorie bollose o pumicee, sui tufi vulcanici, su quelle forme infine, le quali non trovano un così facile riscontro nelle rocce cristalline

che si conoscono più communemente. Ma quanto alle obsidiane, od in genere alle lave vitree o semivitree, abbiamo già fatto osservare come esse costituiscono delle varietà veramente eccezionali. Anche le scorie, le pomici, i tufi, sono modi di presentarsi delle lave, dipendenti da circostanze che possono e non possono presentarsi. Del resto le moderne obsidiane trovano un buon riscontro nelle *retiniti*, nelle *perliti*, nelle *sferoliti* (*Parte seconda*, § 218), che s'incontrano nei dominî delle trachiti, dei basalti, dei porfidi anche più antichi: nè parmi troppo fuori di luogo il dire, che le *petroselci* (*Ivi*, § 214), paste feldspatiche compatte, omogenee, a lucentezza cerea, rappresentino forse dei graniti o delle dioriti allo stato di obsidiana. Le lave bollose e scoriacee si trovano benissimo rappresentate dai basalti, dai porfidi, dai melafiri bollosi, scoriacei, ove sovente, come avviene delle lave bollose e delle obsidiane dell'Etna, delle Lipari, ecc., le bolle sono riempite di sostanze concrezionari, o amigdaloidali. Quanto ai tufi, avremo troppe occasioni in seguito di parlare di tufi porfirici, malafirici, trappici, basaltici entro i dominî delle formazioni cristalline antiche e moderne. I celebri porfidi del lago di Lugano, mentre sono più presto da classificarsi coi graniti, prendono in più luoghi la natura dei veri porfidi, in altri quella dei melafiri; ma nel tempo stesso presentano delle vere retiniti molto simili alle obsidiane, tra Grantola e Cunardo, vere lave bollose, ricche di amigdali, a Marchirolo o a Fabbiasco, e veri tufi, ossia impasti di frantumi angolosi di porfido in una pasta terrosa, porfirica nelle stesse località, e letti di coneri, simili a straterelli di marne, inclusi nel tufo. Qui notiamo adunque nello stesso gruppo di antichissimi porfidi paleozoici o triasici una serie, non di gradazioni, ma di decise varietà, per cui, dal granito quasi pretto si passa alle lave, alle scorie, ai tufi degli attuali vulcani.

12. Ma i più sicuri, come i più communi, rapporti, si trovano tra la struttura delle rocce cristalline compatte e quella delle lave normali, compatte, di quelle lave di cui il volgo non si occupa perchè, all'aspetto, non vi trova nulla che le distingua dalle rocce più communi di tutti i paesi. Ed è così veramente. Pigliatevi dei saggi dall'Etna, dal Vesuvio, o dai vulcani appena spenti del Napoletano, della Romagna; poi pigliatene altrettanti dalle rupi cristalline delle Alpi; e, senza nemmeno uscire d'Italia, troverete come le rocce vulcaniche, ossia le lave e le rocce cristalline, si corrispondano a vicenda in tutte le accidentalità di struttura.

13. Anzi tutto trattasi sempre di impasti di cristalli. Talora i cristalli sono indistinti, microscopici, si perdono in una pasta d'una tinta e d'una grana conforme: è la *struttura criptocristallina*, che voi incontrate in molte lave moderne ascritte ai leucitofiri, ai basalti, e che vi si presenta così sovente nei porfidi, nei melafiri. In molti casi però le rocce criptocristalline rivelano assai bene la loro struttura cristallina a spezzatura fresca, e meglio ancora se levigate. Le lave più recenti del Vesuvio, le quali presentano l'aspetto di scorie uscite da un forno fusorio, se le osservate superficialmente, ove sono più scoriacee, e quasi smaltate di vetro nero, a mala pena vi discernereste un cristallo: ma spezzatene un frammento, e tosto punti chiari, cristallini, spiccano sul fondo nero: fate lisciare lo stesso pezzo e vi si mostrerà una struttura nientemeno che porfiroide. Si conserva al Museo di Milano un medaglione, modellato probabilmente, come altre medaglie colla lava vesuviana del 1844, che si lasciava foggiare come liquida *ghisa*. Quelle medaglie hanno precisamente l'aspetto di medaglie gettate in ferro fuso. Ma se guardate il rovescio del medaglione, che fu perfettamente lisciato, vedreste che quella lava consta di pasta nera, uniforme, dove sono disseminati in gran copia dei corpi cristallini biancastri, per cui, prescindendo dal colore, la paragonereste al porfido antico.

Digitized by Google

14. Più communemente le lave mostrano evidente la loro cristallizzazione, imitando così le rocce cristalline, ove d'ordinario la cristallizzazione è pure evidentissima. Certe rocce cristalline, per esempio un gran numero di porfidi, constano di una pasta litoide, omogenea, compatta, ove sono disseminati in gran copia piccoli, ma evidentissimi cristalli. Le lave dell'Arso ad Ischia, benchè scoriacee, e le lave a corda dell'Etna, constano appunto di una pasta nera, omogenea, seminata di bianchissimi cristalli di feldspato vitreo. Dicasi lo stesso della lava dei Monti Rossi che invase Catania nel 1669, ove i cristalli sono più piccoli, ma, per compenso, molto più abbondanti. La forma dei cristalli non è però sempre decisa, ma spesso si riduce a piccole masse a contorno indeciso. In tale stato si presentano, per esempio, molti porfidi, tra cui l'antico e i basalti anfigenici del lago di Bolsena.

Molte rocce cristalline antiche presentano la struttura granitoide. Sono masse granulose, ove uno o due dei minerali componenti si presentano in cristalli ben distinti in mezzo ad un altro minerale granuloso. I graniti, i protogini, le sieniti, sono tipi della struttura descritta. Ma la struttura granitoide è quella pure delle communi trachiti di Aussig in Boemia, della Romagna, ecc. Certe trachiti micacee, ch'io raccolsi dai peperini del Monte della Quercia sopra Viterbo, e che trovai in posto sul monte stesso, hanno tutto l'aspetto dei nostri graniti communi, grigi, a grana fine. Una varietà di trachiti, rocce estremamente micacee, che io trovai ai Cappuccini sopra Viterbo, e tra Acquapendente e San Lorenzo, potrebbero scambiarsi da un mal pratico col granito rosso di Baveno. Chi non fosse mineralogista, come distinguerebbe dai graniti tante lave del Somma, di cui tengo una buona collezione offertami dal marchese Gualterio? Sono masse di cristalli di feldspato vitreo, sparse di cristalli di pirosseno, e veri angitofiri, o pirosseniti granulose, straricche di mica, ma sempre e poi sempre, *per struttura*, graniti, imitati in tutte le loro varietà granulose o porfiroidi.

15. Vi sono rocce eminentemente porfiroidi, ove cioè i cristalli acquistano dimensioni assai ragguardevoli, o, benchè ammassati in gran copia entro una matrice cristallina di diversa natura, presentano perfettissime le loro forme. Così si presentano il ghiandone, o granito porfiroide della Valtellina, e diverse dioriti porfiroidi, o ofiti delle nostre Alpi. Ma tale è pure la trachite augitica di Aussig, impasto di magnifici cristalli di augite in matrice terrosa; tali le trachiti di Latera, a pirosseni; tale la trachite di Acquapendente a cristalli perfetti di feldspato vitreo, e le trachiti del Drachenfels nel Siebengebirge, a cui i grossi ortoclasi, talora stivati in gruppi assai fitti, danno l'aspetto del nostro ghiandone, e le lave anfiboliche del Vesuvio, somiglianti ai porfidi anfibolici, e le anfiboliti del Somma, simili affatto alle anfiboliti delle Alpi, e più di tutti i leucitofiri del Somma, dei Cimini, ecc., che si direbbero una massa di grossi e perfettissimi anfigeni, impastati da un cemento terroso.

16. Le stesse rocce serpentinose o ofiolitiche, per quanto vogliasi considerare il serpentino come minerale, e come roccia semplice, presentano la struttura delle altre rocce cristalline. Fuse talora in una pasta omogenea e compatta, come le obsidiane, le perliti, le petroselci, ed altre rocce, più spesso si mostrano anch'esse cristalline, anzi precisamente porfiroidi. Diverse varietà di serpentine delle Alpi di Valtellina, che si vedono così abbondanti nel detrito glaciale, e in massi erratici nelle vicinanze di Lecco, sono pieni di sferule, o cristalli indistinti di diversa natura, che io non credo ancor studiati da nessuno, ma che danno alla roccia un vero aspetto porfiroide. Il serpentino del Covigliajo, tra Bologna e Firenze, è una massa granulosa, e consta di elementi cristallini serpentinosi. Abbondano poi nelle Alpi

Digitized by Google

del Piemonte, per esempio a Oulz, e nell'Appennino, a Pietra Corva nel Piacentino, e nelle vicinanze di Lovanto, i serpentini con bronzite, a struttura porfiroide la più decisa, talora veri impasti di cristalli. Ne vidi a Levanto una varietà che poteva, per la sua struttura a grossi cristalli, paragonarsi alla trachite eminentemente porfiroide del Drachenfels. A Pietra Corva poi trovai associato al serpentino un conglomerato che può dirsi un vero tufo serpentinoso.

Insisto e insisterò specialmente su quei caratteri che avvicinano i graniti e i serpentini alle lave, poichè, ammessa la da molti contestata origine eruttiva delle rocce granitiche e serpentinose, la causa è vinta per tutte le rocce composte.

17. In questo studio comparativo, il più grossolano, a dir vero, che si potesse fare, io non ebbi bisogno di dipartirmi dalle collezioni che si conservano nel Museo di Milano, per riconoscere nelle lave tutti quei modi, e perfino tutte le accidentalità di struttura, per cui le rocce composte, i graniti e i serpentini compresi, si affratellano alle lave più moderne. Nè vorrei che i mineralogisti, i quali seppero inventare tanti nomi, per distinguere le une dalle altre anche le rocce più affini tra loro, si scandolezzassero di troppo vedendomi fare a fidanza coi caratteri mineralogici, e predicare questa specie di communismo tra i graniti, i porfidi, le dioriti, ecc., o le trachiti, gli augitofiri, le lave tutte. Essi ben sanno che tali parentele furono riconosciute o sancite con tutta legalità, anche in base a caratteri mineralogici, e di ciò occuperemci più tardi. Intanto desidero che essi mi intendano bene, poichè quanto v'ha di vero è anche per loro. Io ho parlato di somiglianza e di identità di struttura. Da tale somiglianza e identità traggo un primo argomento della communanza d'origine delle lave e delle rocce cristalline, composte, in genere. Una puddinga a ciottoli calcari non è certo una puddinga a ciottoli quarzosi, o a elementi poligenici; ma tutte sono puddinghe; e non v'ha geologo o mineralogista che si rifiuti ad assegnare l'istessa origine sedimentare, fluviale, lacustre o marina, secondo i casi, a tutte le puddinghe, siano calcaree, o siano quarzose o poligeniche, a cemento sabbioso, ferruginoso, argilloso, siliceo. Io non dubiterò dunque di assegnare una commune origine eruttiva alle rocce cristalline, comunque siano composte di quarzo, di feldspato e di mica, piuttosto che di anfigene, di augite, di pirosseno, di amfibolo, di bronzite, di serpentino, di talco o di altri minerali, che si associno o si alternino a due a due, a tre a tre, a quattro a quattro. — *Miscele cristalline eruttate dai vulcani* — ecco la definizione generale che si affà a tutte le rocce composte, non stratificate, non fossilifere. Le eccezioni a suo tempo.

18. Dissi che quella fisonomia di famiglia, la quale traspare dalla struttura di tutte le rocce cristalline, e le affratella alle lave, non è punto smentita, anzi è confermata, dalla composizione mineralogica. Non farò ora che alcune brevi osservazioni in proposito.

La classificazione delle rocce secondo l'elemento elettro-negativo, proposta da Daubrée come vantaggiosa (*Classification adoptée pour la collection des roches du Museum*, Paris, 1867)., comprende tutte le rocce da noi dette composte in un unico grande gruppo; quello delle *silicidi*. Perchè?.. perchè infatti quelle rocce constano essenzialmente di silicati, cioè di acido silicico combinato con un piccol numero di basi. Quando infatti l'acido silicico, elemento fondamentale di tutte le rocce cristalline, tanto pei graniti primitivi, come per le lave odierne, non si isola sotto forma di quarzo, lo troviamo combinato colle due basi allumina e magnesia, a cui si associano la calce, il ferro, la potassa e la soda. Queste sostanze si combinano in proporzioni assai variabili, creando diversi minerali: ma qualunque di tali impasti voi

sottoponiate all' analisi chimica, vi darà sempre i pochi componenti suddetti. È così raro che alcuna delle citate sostanze non faccia atto di presenza, almeno con qualche atomo, che una roccia composta, un granito come una lava, si potrebbe, considerata come composto chimico, definire: un silicato di allumina, magnesia, calce, soda, potassa e ferro.

E non è nemmeno numerosa la serie delle combinazioni, ossia dei minerali, da cui risultano le rocce composte. I principali sono i seguenti, dei quali quelli messi in plurale presentano diverse combinazioni, cioè diverse specie, come già sappiamo (*Parte seconda*, Capo V).

Quarzo	Anfigene	Amfiboli
Mica	Talco	Olivina
Clorite	Serpentino	Ferro ossidulato
Feldspati	Pirosseni	

Quando si pensa di quale complicata combinazione di forze debbano essere la risultante questi prodotti delle viscere terrestri, e quanti elementi trovinsi in continuo antagonismo nell' interno del globo; c'è da meravigliarsi davvero della poca varietà, diremo anzi della uniformità, in quanto vi ha di essenziale, nelle rocce cristalline di tutti i tempi, di tutti i luoghi. Ma siccome dovremo ritornare su questo argomento, accontentiamoci ora di aver sancito che la composizione chimica e mineralogica, come la struttura, depongono per la communanza di origine tra le lave e tutte le rocce cristalline.

19. Dall' esame delle rocce nelle collezioni, passando ad osservarle in posto, ci accorgeremo ben tosto che il loro modo di giacitura, e i loro rapporti colle rocce sedimentari, sono tali, che rispondono per bene all'ideale di una protrusione attraverso la crosta terrestre, e di un conseguente espandimento in massa alla superficie. Anzi tutto osserveremo che i graniti, i porfidi, i serpentini, ecc., si presentano come le lave, sotto *forma massiccia*, ossia, come dissi, senza indizî di vera stratificazione, e quasi colossi informi di un sol getto (*Parte seconda*, § 264). Ma siccome avviene pure sovente, che le rocce eruttive presentino tutte le apparenze della stratificazione, ed anche una stratificazione reale; così non ci fermeremo sopra una forma, certo assai caratteristica, ma il cui valore ha bisogno di essere liberato dalle apparenze che lo infermano. — Lo faremo più tardi, spiegando come la stratificazione presentata talora dalle rocce eruttive, ha tutt' altra origine, e tutt'altro valore da quella dei torrenti di sedimento.

20. Diamo piuttosto uno sguardo complessivo a quelle multiformi masse, che rompono di tratto in tratto le fughe interminabili delle formazioni sedimentari. Sbucciando da esse improvvise, quasi a capriccio, e da escrescenze di qualche metro, quali son quelle spesso isolatissime dei serpentini dell' Appennino, ingrossandosi, giganteggiano in guisa da costituire colossali montagne, come i porfidi del lago di Lugano, i graniti di Valtellina, e i protogini del monte Bianco. I terreni sedimentari, sollevati in dossi, in creste, corrono miglia e miglia, quasi dighe colossali, e ciclopiche muraglie, che misurino tutta intera la lunghezza delle più grandi catene. Spezzate, erose in mille punti, sconvolte, ributtate lungo il cammino, sempre si ripigliano, si riannodano. Passate le valli, passate le immense regioni ove tutto si nasconde sotto l' uniformità di un piano, quegli stessi strati, quelle stesse formazioni ricompajono, mantenendo talora la più scrupolosa uniformità sopra linee che misurano i conti-

nenti. Anche l'immensità degli oceani non le turba, e talvolta dall'Europa all'Africa, dall'Africa all'Asia, dall'Asia all'America voi potete tener dietro a delle formazioni, le quali, se presentano pure dei cambiamenti sensibili, non mancano di rivelare quella communanza di caratteri, che di molte formazioni ne fa una sola.

Non così le rocce composte. Per quanto vaste, sorgono pur sempre sopra uno spazio relativamente assai limitato: non hanno forma di catena continua, ma di masse allineate. Ogni massa si presenta come un'isola, circondata da terreni sedimentari. Dal mutuo approccio, non le masse cristalline dalle sedimentari, ma queste da quelle appajono sturbate. Ma ad onta di tali disturbi, gli strati sedimentari ripigliano, identici a sè stessi, le loro mosse, al di là delle masse cristalline; mentre queste mutano nome ad ogni tratto, o, se lo mantengono, ti confondono colle inesauribili varietà di composizioni o di miscele. Una carta geologica qualunque, che comprenda una estensione sufficiente, vi fa apparire evidente il contrasto tra la lineare continuità delle zone sedimentari, e la limitazione, l'isolamento delle masse cristalline. Studiando sul vero, quando non vogliate consacrare un mese sulle Alpi a rincorrere quelle poderose masse cristalline, disperse entro le formazioni stratificate, assai più vaste ancora; consacrate una sola giornata di cammino ad alcuno dei distretti serpentiniferi dell'Appennino, e ne riporterete l'ideale perfetto di quei rapporti tra gli strati sedimentari e le masse cristalline, da cui emerge così patente l'origine eruttiva di queste.

21. Mi rimane ancora vivissima l'impressione che riportai appunto da una gita nell'Appennino parmigiano. Partendo da Salsomaggiore per giungere al Taro, per la via di Pellegrino, voi vedreste di tratto in tratto sbucciare dalla calcarea a fucoidi diverse masse di serpentino. In forma di rupi nere o d'un rosso cupo, torreggiano sopra la zona calcarea, all'altezza di 30, 50, 80 metri. Dall'alto della piccola catena, sulla cui cresta si svolge l'amenissimo sentiero, scorgonsi quelle masse succedersi allineate sulla cresta istessa, e talora sporgere dai fianchi, formando un singolare contrasto con quella uniformità, che caratterizza le catene dell'Appennino.

A quei dirupi fanno corona le pittoresche rovine dei castelli del medio evo, che or possono aversi per altrettanti indici geologici della formazione serpentinosa. La catena calcarea non pare risentirsi di quelle improvvise apparizioni o continua diritta la sua via, lasciando queste masse totalmente isolate. Nulla vi farebbe accorti dell'avvicinarsi di quelle serpentine, che, se talvolta vi appajono da lungi in moli imponenti, altre volte vi sbucciano quasi sotto i piedi, in cupole da 6 a 7 metri di diametro, quasi nere teste di giganti sepolti nella montagna. Benchè per nulla somiglianti a quanto di esterno presentano i vulcani, hanno dei vulcani l'indole cristallina della roccia, e il modo di presentarsi in masse isolate, allineate, aggruppate, che si aprirono la via attraverso gli strati.

22. A piccola, o a grande scala questo è il modo ordinario di presentarsi delle trachiti, dei basalti, dei trappi, dei porfidi, delle dioriti, delle sieniti, dei graniti. Sopra un certo tratto di paese, tanto a destra quanto a sinistra del Reno, tra Coblenza e Colonia, voi potreste contare almeno un migliajo di punti, ove masse di rocce cristalline emergono dai terreni sedimentari. Sono lave, trachiti, basalti, fonoliti, melafiri, porfidi, dioriti, ecc. Talora, come in tutta la vasta regione dell'Eifel, le rocce cristalline si presentano con tutto l'apparato di vulcani, i quali, benchè spenti, non differiscono punto dai vulcani attualmente attivi. Il più delle volte invece le rocce cristalline appajono isolate, e dell'apparato vulcanico non presentano che alcune parti, od anche nessuna. Tocca alla scienza l'indagare perchè le lave basalti-

Digitized by Google

che dell'Eifel si presentino in concorso con perfetti apparati vulcanici; mentre le trachiti del Siebengebirge, i basalti, i melafiri o non li presentano, o li presentano solo, per così dire, allo stato rudimentare. Ma intanto non si può negare che l'assosociazione di queste masse cristalline ai veri vulcani, e l'identico modo di dispersione, di giacitura, di isolamento, in mezzo agli stessi terreni sedimentari, non sia un grave argomento dell'origine vulcanica di tutte.

23. Abbiamo però un modo di giacimento che è di tutte, e identico per tutte le rocce composte, facciano o non facciano parte di un vero apparato vulcanico. Parlo di una di quelle forme che io chiamai *ristrettive* (*Parte seconda*, § 266), ma che è propria esclusivamente, e quindi decisamente caratteristica, delle rocce eruttive. Questa forma è il *dicco.*

Dissimo formare un *dicco* (se è piccolo, un *filone*; se è piccolissimo, una *vena*) quella lava che si insinua, si injetta, d'ordinario verticalmente, in una formazione sedimentare o eruttiva, formando il riempimento di una fessura, più o meno larga, più o meno irregolare talora regolarissima. Non v'ha che una roccia protrusa, allo stato pastoso eminentemente plastico; non v'ha, cioè, che una *lava*, che possa insinuarsi a quel modo in una spaccatura, talvolta molto angusta, per di là riversarsi sulla superficie della terra; ond'è che il *dicco* è ritenuto come ineccepibile argomento dell'origine vulcanica di una roccia. Tutte le rocce composte si presentano in dicchi.

24. Abbiamo dimostrato come un cratere vulcanico non è, in origine, che una spaccatura lineare, da cui rigurgita la lava, rigonfia dai vapori, riversandosi (quando la fessura sia aperta sopra un piano inclinato, come sul fianco di un vulcano) dalla estremità più bassa della fessura stessa, per un vero fenomeno di drenaggio (*Parte prima*, §§ 841 842). Quando cessino le ragioni per cui la lava rigurgiti, si arresterà naturalmente entro la crepatura, che, col solidificarsi della lava, sarà trasformata in dicco. Più volte l'Etna ebbe rotto il fianco da squarciature, strette, ma enormemente lunghe. L'ultima eruzione, quella del 1865, anch'essa si sfogò lateralmente, attraverso una spaccatura di ben 1380 metri. Ma l'isola Lancerote veniva nel 1738, squarciata tutta quanta era lunga; e lo Skaptar Jokul, d'Islanda, vomitò torrenti di lava da una spaccatura di 160 chilometri. Dovrebbero presentarsi d'una lunghezza ben smisurata quei dicchi, se un giorno venissero messi a nudo dall'erosione, come i celebri dicchi del Somma, dell'isola Bourbon, ecc. Ma noi già accennammo al dicco di melafiro, che attraversa il Biellese (Piemonte) sopra una linea di 23 chilometri, e i dicchi trappici del Durkan, che corrono 100 chilometri.

25. I dicchi porfirici costituiscono uno dei più volgari, come uno dei più grandiosi fenomeni geologici in tutta Europa. Quelli di Cornovaglia, potenti fin di 300 e 400 piedi, corrono sopra linee di 5, 9, e fin 12 miglia. Il celebre *porfido antico* si presenta nel Djebel-Dokhan, secondo Lefebvre, sotto forma di dicco, nel granito, dello spessore di 20 a 25 metri. I dicchi porfirici sono frequentissimi nei dintorni di Cristiania, in Sassonia, nel Thüringer Wald, ecc. (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 680.)

Nell'Atlante di La Bêche (*Coupes et vues*) sono figurati molti dicchi, ossia intrusioni di trapp (lave basaltiche, porfiriche, ecc.), ove si ha il vantaggio di vedere, come dal dicco nasca l'espandimento. Ma chi desideri osservare qualche cosa di ben parlante, e assistere, direi, ad una eruzione che si opera attraverso le crepature della crosta terrestre, si rechi a Leffe, e vedrà come i porfidi amfibolici si insinuano nella formazione triasica e infraliasica, che ne è tutta traforata. Tosto sull'ingresso della gora, per cui il bacino di Leffe si scarica in Val-Seriana, un dicco verticale di

Digitized by Google

porfido in decomposizione è accennato da un solco nella rupe calcarea. Più oltre una muraglia di porfido, a bellissimi amfiboli, si getta attraverso la gora, che ne rimarrebbe sbarrata se, come credo, la gora stessa non si fosse formata spezzando gli strati e il dicco ad un tempo. Sul margine stesso del bacino lignitico affiorano i dicchi di porfido; ma è nella diramazione più orientale della Val-Concossola sopra Gandino che potremo formarci un'idea adeguata del modo di aggrupparsi dei *dicchi*, dei *filoni*, delle *vene* eruttive. In cento punti i dicchi verticali di porfido amfibolico o incrociano gli strati della dolomia del trias, o in bizzarro modo vi errano, vi serpeggiano, ora nudi e scoperti, ora accusati dalla vegetazione, che si raccoglie sul terriccio creato dalla decomposizione caolinosa del porfido, mentre è esclusa dai dominî della sterile dolomia.

26. Ma stimo tempo buttato quello che impiegassi nel citare esempî di un fenomeno così volgare in qualunque parte ove si mostrino lave, trachiti, basalti, trapp, porfidi, rocce cristalline composte di qualunque famiglia. Per essere volgare il fenomeno non cessa però di essere un inesauribile testimonio dell'origine eruttiva delle rocce che lo presentano, nè so come si possa ricusarla ai graniti e ai serpentini, i quali lo presentano come tutte le altre.

Ovunque esistano regioni granitiche, in Italia e fuori, esistono dicchi e filoni di granito. I poderosi massi di ghiandone (granito porfiroide) erratici del lago di Como, bastano già a darci un'idea dell'intreccio di filoni e di vene coi quali il granito a grana fina (Sanfedelino, miarolo) trafora in cento direzioni il granito porfiroide. Lo stesso, mi scrive il professor Segnenza, si verifica nei dintorni di Messina, ove i molti spaccati naturali mostrano a nudo i filoni di granito massiccio, e di pegmatite, che injettano il gneiss in moltissimi luoghi. Ma che giova moltiplicare gli esempî? Anche i dicchi granitici possono annoverarsi tra i fenomeni più volgari. Le opere elementari di La-Bêche, di Naumann, ecc., come le opere speciali di cento autori, ne rigurgitano. Il granito in dicchi molteplici, paralleli, binati, incrociati, bizzarri come sono bizzarre talvolta le crepature della crosta del globo, traforano i graniti più recenti, i gneiss, gli schisti, i calcari, infine rocce d'ogni genere. Dai dicchi, come da tronchi, si diramano le apofisi granitiche, le vene che si abbarbicano in mille direzioni nella roccia incassante, si spingono a grandi distanze, facendosi esili, affilate, finchè si perdono in seno alle rocce. Basta gettare uno sguardo o sui dicchi stessi, o sulle tavole che li figurano, per persuadersi che trattasi di una massa pastosa, di una lava, la quale spinta da una forza irresistibile, alla superficie, per la via delle maggiori crepature, si injettava nelle minori diramantisi da quelle. Ciò che si dice del granito si intende detto delle sieniti, e delle rocce granitiche in genere, come si può vedere consultando l'opera di Naumann.

27. Quanto ai serpentini e alle rocce serpentinose, sappiamo dal Savi che la Toscana, ricca di esse rocce, offre un continuo intreccio di gabbri (serpentini con diallagio), di eufotidi, di dioriti, che a vicenda si incrociano, ed io potei ammirare nei dintorni di Levanto le serpentine diallagiche che injettano gli strati terziarî, o si injettano a vicenda, presentando, per esempio in prossimità della stazione postale delle Baracche, gruppi di filoni di serpentino entro il serpentino, che richiamano i celebri dicchi vulcanici del monte Somma.

28. Contro il valore che suol darsi alla forma di dicco, come quella che costituisce forse l'argomento di fatto più decisivo in prova dell'origine eruttiva delle rocce cristalline, dei graniti, delle dioriti, ecc., si arma l'ipotesi del riempimento dall'esterno. Non essendo il dicco che un crepaccio riempito, chi ci obbliga a credere che

Digitized by Google

il riempimento provenisse dall' alto, piuttosto che dal basso? dall' interno, piuttosto che dall' esterno? — Lasciando che, per la natura del riempimento del dicco, stanno tutti i caratteri distintivi delle rocce eruttive, e che, prima di ammettere un riempimento dall' esterno, bisognerebbe provare che esternamente si possano produrre rocce simili a quelle che riempiono il dicco; l' azione meccanica che il dicco ha esercitato uscendo dall' interno, la presenza dei minerali, da cui è quasi invariabilmente accompagnato, ed altri accidenti, rispondono di un processo affatto interno, che non trova rapporti che nei fenomeni concomitanti la protrusione delle lave.

Primieramente le lave injettate non possono a meno di esercitare un' azione meccanica sulle rocce che attraversano, e subirla, pel mutuo attrito, che, se osserviamo la violenza con cui le lave vengono talora spinte alla superficie, dovrà essere ben potente.

Si troverà quindi molto naturale che le rocce incassanti vengano lacerate, sbranate, e che i brani, o vengano colle lave stesse eruttati in un commune impasto, o si trovino, quasi in atto di venir trascinati dalla corrente, sui lati stessi del dicco, cioè presso le *salbande*. Salbande appunto si nominano le pareti del dicco, ossia i piani di contatto tra la roccia incassata e la incassante, contrassegnati ordinariamente da speciali condizioni dell' una e dell' altra, e in ispecial modo appunto dalla presenza di lacerti della roccia incassante, o di altre rocce incontrate dalla lava nella sua violenta ascesa da maggiori profondità. Talora essi frantumi sono così spessi e molteplici, da formare, colla lava che li impasta, una breccia, e conglomerati vulcanici d' incredibile potenza. Sono quei *pseudo-conglomerati*, di cui ci siamo già occupati (*Parte prima*, § 259) e che fiancheggiano appunto i dicchi delle rocce eruttive. I brani di rocce straniere, interclusi nelle rocce cristalline, quelle segnatamente che fiancheggiano i dicchi, come pure i conglomerati che si trovano alle salbande, ci sono come altrettanti testimonî veraci dell' origine eruttiva delle rocce stesse.

29. I vulcani attuali, benchè sieno quelli appunto di cui più difficilmente si può leggere l' interno, e quindi verificare un fenomeno che in gran parte nell' interno si consuma, non mancano di appoggiare col fatto, quanto con certezza si può dedurre in via teorica. Le pietre slanciate nelle eruzioni non sono che brani divelti dall' impalcatura e dall' interno della montagna. Le bombe mostrano sovente un frantume straniero di roccia, che servì di nucleo, intorno a cui si avvolse, roteando in forma di fuso la plastica lava (*Parte prima*, § 820). Entro i dominî del Somma e del Vesuvio si può radunare copiosa collezione di argille, di dolomie, di calcari, eruttati dall'antico o dal moderno vulcano, unitamente alle lave.

30. Il fenomeno si verifica a così grande scala nell' Eifel (Prussia Renana), che si può dire una delle caratteristiche di quel meraviglioso distretto di vulcani or ora estinti. Come i vulcani dell' Eifel hanno eruttato il petrame devoniano, entro cui esplodevano immediatamente; così il Vesuvio del 79 seppellì le città sotto il petrame svelto dalle trachiti del Somma (Scrope, *Les volcans*, pag. 318). E invero voi vedreste la campagna, per esempio all'ingiro del lago di Laach, tutta coperta di un petrame che si direbbe proveniente dallo sfacelo di montagne circostanti, se vere montagne vi fossero. Il fatto si è che quel petrame fu balestrato all' ingiro dai vulcani, o fu vomitato insieme alle scorie o alle correnti, rimanendo poi libero per effetto, almeno in parte, delle erosione meteorica. Spesso infatti il petrame si accumula sul labbro dei profondi crateri, o crateri-laghi, così numerosi nell' Eifel, formando masse detritiche colle ceneri e coi lapilli. Talora invece si vede ancora impigliato nelle correnti di lava.

Tra Cottenhein e Mayen osservai una corrente di lava, sotto forma di colle allungato, corrente che dà alimento colà all' industria delle mole da mulino. Tre colli di scorie, allineati nel verso della corrente, sembrano rappresentare tre crateri avventizî, da cui eruppe successivamente sul fianco di un cono, che mi parve ancora il cono depresso del lago di Laach.

Quella corrente è straccarica di ciottoli angolosi, brani di terreni primitivi, principalmente devoniani, a superficie scorificata, bollose, per l'azione delle lave, da cui furono diversamente modificati. Più ancora interessante è un cratere a nord di Boos, il cui ciglio è tutto di scorie, prodotte da un' ultima eruzione. È mirabile a vedersi l' abbondanza dei grossi brani angolosi di grès devoniani, superficialmente ma perfettamente vetrificati, come uscissero da una fornace, incastonati nella lava, nella scorie, nelle bombe. Eccitarono poi sempre la meraviglia del geologo quelle bombe, o, per meglio dire, quei ciottoli arrotondati di olivina che si scorgono in più luoghi. Il gran cratere presso Dreis è composto, per una metà del suo giro, di strati devoniani e per l'altra metà di roccè vulcaniche. Qui appunto si svolgono dallo sfasciume vulcanico in copia strabocchevole, le bombe di olivina del diametro fin di 40 centimetri, incrostate di basalte.

31. Ma la località più classica per l'abbondanza e la varietà delle rocce, straniere alle lave, ma con loro eruttate, è il vasto cratere di Laach, di cui il lago occupa il fondo. Esse formarono il soggetto di un interessante lavoro di Th. Wolf (*Die Auswürflinge des Laacher-sees*, Zeitschr. di Deutsch. Geol. Gesell., 1867, pag. 451), da cui il geologo può trarre importanti deduzioni. Come parte primaria di quel rigetto figurano gli schisti e le arenarie devoniane; a questi si aggiungono, più o meno abbondanti, il granito e le rocce granitiche, la sienite, l'amfibolite, la diorite, l'olivina in roccia, il gneiss protoginico, il micaschisto, il cloritoschisto, lo schisto anfibolico, la diorite. Nessuna delle rocce nominate, ad eccezione delle rocce devoniane, è indicata dalle esattissime *Carte geologiche delle Province del Reno e delle Vestfalia*, pubblicate da Dechen, sopra un paese che si svolge qualche centinajo di miglia all'ingiro del cratere di Laach. Si trova, è vero, una diorite; ma questa, dice il Wolf, è differente dalla diorite eruttata dal vulcano. L'olivina poi non fu scoperta finora in nessun luogo, salvo sotto forme specifiche diverse, a Lherz, ne'Pirenei, e nelle montagne del Dun, nella Nuova-Zelanda (*Lherzolite* o *Dunite*). Dove trovarono dunque i vulcani dell' Eifel quelle rocce sul loro passaggio? La è certo una rivelazione dell' esistenza del terreno primitivo (*Laurenziano* o *azoico*), di cui troviamo intero il gruppo dei principali rappresentanti, sotto un paese devoniano. Intanto noi possiamo apprezziare l'importanza del fenomeno, e assicurarci che un vulcano può svellere dei brani di formazioni, sepolti a immani profondità, sicchè le lave ne rimangano ingemmate.

32. Ho insistito sui fenomeni presentati dall'Eifel, per dimostrare con quanta facilità si debbano trovare rocce straniere intorcluse nelle lave, e come quindi quei frammenti siano una testimonianza sicura dell' origine eruttiva della roccia cristallina che li contiene. Anche nelle trachiti del Siebengebirge, più antiche delle lave dell'Eifel, si scoprono frammenti di rocce devoniane, quali si mostrano in quei dintorni, di rocce cristalline schistose, e anche di trachiti (Bischof, *Lehrb.* III, pag. 340).

Così un basalte presso Tharand, che sorte dal detto Quadersandstein, non involge soltanto, come riporta il Cotta, frammenti di quelle arenarie, ma anche frantumi del porfido, che giace al dissotto delle arenarie. — Il basalte della valle dell' Elba, tra Aussig e Lobositz include, secondo Reuss, frammenti di granito, strappati da ignote profondità, mentre il granito è cosa affatto ignota in quella regione (Naumann,

Digitized by Google

Lehrb. I, pag. 918). I basalti del Vivarais contengono spesso frammenti di granito, conservatissimi, o talora d'olivina fin del peso di 30 libbre (Breislack, *Ist. geol.*) I Grünstein, ossia le rocce pirosseniche, che eruppero in tanta copia nelle regioni settentrionali d'Europa, durante l'epoca paleozoica, si fanno distinguere per l'abbondanza e varietà dei frammenti interclusi. Un dicco di Grünstein a Cristiania, in Norvegia, mentre è incassato dagli schisti siluriani, mostrasi zeppo di frantumi di gneiss (Dana, *Man.*, pag. 25). I Grünstein di Luscombe Quarry, nel Devonshire, includono gran copia di frammenti calcarei. Grossi pezzi di schisti argillosi sono interclusi e metamorfizzati nella massa di diabase che, nell'Ochsenberg, vanta uno spessore di 100 piedi. Altri esempî di dolomia, di grès, di gneiss interclusi nei Grünstein si possono leggere nell'opera di Naumann (*Lehrb.* II, pag. 426).

33. Le grandi formazioni porfiriche d'Europa offrono ovunque esempî a grande scala dell'azione violenta, esercitata dalle masse eruttive sulle pareti delle rocce, attraverso alle quali si aprivano la via. Non parlasi soltanto di frammenti interclusi, o di salbande limitate, composte di conglomerati di frizione, cioè di impasti meccanici di frantumi di rocce incassati colla pasta eruttiva; ma di colossali formazioni, che hanno la stessa origine. Naumann (*Lehrb.*, II, pag. 702) ne cita un gran numero di esempî.

Un porfido quarzifero a Porto Ferrajo, nell'Isola d'Elba, involge un gran numero di grossi massi calcari. Ho già citato come classica, pei dicchi di porfido anfibolico, la Val-Concossola sopra Gandino. Posso ripeterla tale per l'interclusione dei massi calcarei avviluppati nella pasta porfirica. Ma il più bell'esempio di conglomerato di frizione, che mi venne fatto di vedere, è quello offerto dal porfido d'Angolo in Val del Dezzo. Un enorme dicco sorge a contatto col calcare nero del trias, probabile equivalente dei *marmi di Varenna* (Trias). Tra il porfido e il calcare si inframette una breccia di frammenti, grossi e minuti, dello stesso calcare, impastati dal porfido. Lisciandola, si avrebbe un bellissimo marmo calcareo-porfirico. L'impasto è talora così fino, che solo l'effervescenza cogli acidi rivela il calcare nel porfido.

34. Un fenomeno così caratteristico è egli presentato anche dai graniti e dai serpentini? Sì, e di tal guisa che voi trovate citati dagli autori un numero maggiore di esempî d'interclusioni nel granito, che nelle altre rocce. Prego di badar bene a questo fatto, perchè, siccome i graniti, per circostanze di cui daremo ragione, sono le rocce che presentano il minor numero di quegli accidenti, i quali caratterizzano le rocce vulcaniche, giova attribuire il valore che si merita a quello dell'interclusione di frammenti di rocce straniere, che si verifica così universalmente.

Osservando, specialmente in giornate di pioggia, il lastrico di Milano, costrutto in gran parte con tavole di granito bianco di Montorfano, sul lago Maggiore, vi balzeranno all'occhio i pezzi, talora arrotondati, talora angolosi, di rocce schistose, e di rocce granitiche, i cui spigoli vivissimi non permettono di dubitare, che si tratti di veri ciottoli interclusi di rocce straniere. Alle cave di Montorfano io ne raccolsi bellissimi saggi, ove la roccia intercIusa è una specie di granito oscuro, a grana finissima, che spicca sul fondo bianchissimo della matrice. Da queste cave istesse uscirono le stupende colonne del nuovo San Paolo in Roma. La levigatura di quei monoliti serve mirabilmente a far spiccare i copiosi frammenti interclusi, tra i quali ne notai uno di porfido color cioccolata, le cui varietà abbondano nelle nostre Prealpi e rimonta a tempi antichissimi. Un altro mi parve doversi riferire a quel granito verde, che vedesi sviluppatissimo nell'Engadina.

35. Ciò che osservasi a Montorfano si ripete, si può dire universalmente, in Ger-

Digitized by Google

mania. La grande formazione granitica del Brenner presentommi tre spiccatissime varietà di granito: 1.° un granito chiaro, simile al *Sanfedelino* di Lombardia; 2.° un granito nero, a minutissimi elementi; 3.° un granito assai bianco e a grana più grossa del granito chiaro suddetto. È notevole la copia stragrande di frammenti angolosi di granito nero, n.° 2, nel granito chiaro n.° 1. Lo stesso fenomeno di frammenti angolosi di graniti, sieniti interclusi nel granito, mi si presentò ovunque come un fatto volgarissimo in Austria e in Boemia. Così ricco di frammenti angolosi di rocce diverse osservai il granito che si impiega nell' edilizia a Lipsia. Presso Dresda la sienite include frammenti calcarei, e il calcare è pure inviluppato dal granito di Capo Cala in Sicilia.

36. Naumann (*Lehrb.*, I, pag. 918) parla delle breccie granitiche, prodotte dall' azione meccanica esercitata dal granito sulle roccie circostanti, come di un fatto in molti luoghi evidentissimo. Il granito di Geyer, per esempio, racchiude grossi frammenti di micaschisto, e, nella stessa località il granito bianco, a minuti elementi, racchiude tal copia delle rocce a contatto, da simulare una vera breccia.

Lo stesso autore (*Ib.*, II, pag. 204-211) cita una congerie di esempî, tra cui sceglieremo i più parlanti. Presso Langebrück i pezzi di gneiss e di micaschisto, interclusi nel granito, sono di 10 e fino di 20 piedi. I massi di gneiss e di schisti in altre località della Germania presentano i 1,000, i 3,000, i 4,000, e fino i 16,000 piedi di diametro. Virlet fece osservare come il granito di Normandia, che fornisce il lastrico di Parigi, contiene veri ciottoli angolosi di schisti, di quarzite, di pietra lidia. Charpentier descrisse il granito di Lekhurrun nei Pirenei come contenente grosse sferoidi di una roccia schistosa, somigliante a un gneiss. Non si può dubitare trattarsi qui di masse straniere, ossia di veri frammenti arrotondati, come le sferoidi di olivina nelle lave dell' Eifel; poichè, mentre la stratificazione è regolarissima in tutti, affetta poi una speciale direzione in ciascuno, come deve avvenire di frantumi di una roccia, involti a casaccio in una pasta commune. Così dicasi di molti altri casi; poichè si avverte dagli autori, che i ciottoli interclusi nel granito sono talora arrotondati, e come rotolati, talora no, secondochè, naturalmente, subirono più o meno l' azione erosiva della corrente granitica, venendo da maggiori o da minori profondità.

37. L' interclusione di frammenti di altre rocce nei graniti parve a Bischof uno dei fatti più degni di rimarco (*Lehrb.* III, pag. 311). Talora, dice, essi frammenti sono arrotondati, talora sono angolosi. Alcuni mostrano di non aver subito alcun cambiamento, e si spiccano nettamente dal granito che gli incassa; altri invece sono più o meno alterati, e si compenetrano col granito. La cosa è a tal punto, che l' illustre nettunista, il quale difende a corpo perduto l'origine sedimentare del granito, non dubita di vedere in tali graniti, che includono stranieri frammenti, dei conglomerati, e proprio dei conglomerati formati sulle coste marine. Vedemmo in più luoghi il granito ricco di frammenti interclusi, al punto di simulare un conglomerato. Ma, come avverte Naumann, quei conglomerati si osservano per lo più ai confini tra i graniti e le diverse formazioni, si osservano cioè nel posto che la scienza assegna ai conglomerati di frizione. Potrebbero essere anche talvolta prodotti di demolizione, come vedremo meglio più tardi. Ad ogni modo, nel mezzo delle grandi masse granitiche, i frammenti sono relativamente assai radi, come lo sono ordinariamente i frantumi che le rocce eruttive travolgono seco, strappati dalle masse rocciose, che incontrano nel loro sotterraneo passaggio. Alle cave di Montorfano, ove pure il granito è più che altrove distinto dall' abbondanza dei ciottoli interclusi, non ne

Digitized by Google

scôrsi che qualche dozzina su parecchie centinaia di metri di superficie. Sono più che sufficienti per stabilire uno de' più sicuri indizî dell'origine eruttiva del granito; ma a nessuno verrebbe in mente di supporvi un conglomerato di sedimento.

38. Dicasi lo stesso di ciò che fu scritto e ritenuto da molti, i quali non vollero vedere nei ciottoli interclusi nei graniti che un modo speciale di concrezioni. Siccome assai frequentemente gli interclusi nel granito sono granitici, e spesso si immedesimano, si fondono col granito matrice; c' ora motivo da sospettare che quegli interclusi non fossero che modalità accidentali di aggregazione degli elementi costituenti la massa granitica. Ma se non bastano l' angolosità, la irregolarità, la nettezza degli spigoli a distinguere l' intercluso dalla concrezione (concrezione la cui origine si lascia poi inesplicata), si badi che gli interclusi non sono sempre graniti, nè solo gneiss o micaschisti, ma schisti argillosi, porfidi, calcari. La breccia granitica della valle di Cauterets (Pirenei), descritta da Charpentier, consta di ciottoli arrotondati o angolosi di due graniti, l' uno ricchissimo di mica, l'altro provvisto di orneblenda. La breccia granitica di Einank (Norvegia), descritta da Naumann, è ai confini tra il granito e il gneiss; il primo include innumerevoli frantumi del secondo. Hoffmann osservò, nel Fichtelgebirge, breccе di schisto argilloso, cementato dal granito; e Macculloch descrive il granito di Loch Rannoch (Scozia) come formante un conglomerato coi brani delle quarziti, dei gneiss, dei micaschisti che gli stanno a contatto. Quei frammenti, egli dice, talora sono immedesimati col granito; ma altre volte se ne spiccano così netti, come il modello dalla sua forma.

39. Le rocce serpentinose, non meno vulcaniche del granito, non lasceranno di presentarci gli interclusi e i conglomerati di frizione. Già da tempo il Targioni fece notare che l'origine eruttiva dei serpentini dell'Appennino era dimostrata dai massi di calcare a fucoidi che v' erano impigliati. Uno di questi massi, di riguardevoli dimensioni, perfettamente involto nella eufotide diallagica, è descritto e disegnato dal Bianconi nella sua *Storia naturale dei terreni ardenti.* Trovasi a due terzi d' altezza del Monte Gaggio, nell'Appennino bolognese.

Nell'Appennino, compreso tra le Alpi e la Calabria, non vi ha granito, nè vi ha alcun argomento nemmeno per sospettare che dalle Alpi, dalle isole o dalla Calabria vi potessero giungere dei massi granitici, trasportati dalle acque o dai ghiacciai. Eppure il Pareto parla di massi erratici di granito, assai sparsi nell'Appennino ligure, e ne parla in modo che si direbbe li ritenga veramente originati allo stesso modo dei massi erratici glaciali delle Prealpi nostre, se non ci rendesse avvertiti egli stesso che quei graniti appartengono a varietà diverse dai graniti alpini, e più che sono in intimi e costanti rapporti *colla serpentina che spesso li avviluppa* (*Descrizione di Genova e del Genovesato*, 1846, pag. 132). Il fatto è (per sventura nol credo studiato quanto si merita) che in quelle masse eruttive si contengono grandi pezzi di granito, e così numerosi che, sfasciandosi dalla matrice serpentinosa, poterono simulare un terreno erratico. Anche il prof. Balsamo Crivelli nelle *Notizie naturali e chimico-agronomiche sulla Provincia di Pavia* (Pavia, 1861), descrive dei *conglomerati di frizione* contenenti masse di granito rosso e di granito grigio, in relazione con masse serpentinose della Valle della Staffora, ecc., cioè in quella parte di Appennino, che è ora compresa nella provincia suddetta. Questo fatto, il quale rivela uno dei sottosuoli, non ancora raggiunto, o probabilmente inaccessibile dell'Appennino, e lega, forse più intimamente che non si creda, le Alpi alle grandi isole e alle estremità più meridionali d'Italia; qui non ci serve che ad assicurarci della origine eruttiva delle rocce serpentinose.

Digitized by Google

III. Genesi eruttiva delle rocce composte dedotta dal metamorfismo di contatto e dal metamorfismo perimetrico.

Azione fisica delle lave, 40. — *Azione indiretta*, 41. — *Metamorfismo*, 42. — *Metamorfismo di contatto*, 43. — *Effetti del calore*, 44. — *Fusione*, 45. — *Conversione delle lave in obsidiana*, 46. — *Vetrificazione delle arenarie e degli schisti*, 47. — *Cottura delle rocce argillose*, 48. — *Diasprizzazione*, 49, 50. — *Prodotta dai serpentini e dai graniti*, 51. — *Parallelo tra la natura e l' arte*, 52, 53. — *Esperienze sulla conversione del calcare in saccaroide*, 54. — *Prodotta dalle lave e dai basalti*, 55. — *Dai porfidi*, 56. — *Dai graniti*, 57. — *Dai serpentini*, 58. — *Scomparsa dei fossili*, 59. — *Distillazione dei combustibili fossili*, 60. — *Esempî diversi*, 61. — *I trapp nel litantrace di Dudley*, 62. — *Clivaggio prismatico come effetto del metamorfismo di contatto*, 63. — *Riassunto dei fenomeni del metamorfismo di contatto*, 64. — *Metamorfismo perimetrico*, 65. — *Emanazioni vulcaniche*, 66. — *Le rocce eruttive come centro di metamorfismo perimetrico*, 67. — *Metamorfismo delle rocce preesistenti*, 68. — *Esempî*, 69. — *Conversione del calcare in gesso*, 70. — *Creazione di minerali*, 71. — *Creazione dei silicati*, 72. — *Altri minerali*, 73. — *I distretti vulcanici sono distretti metalliferi*, 74. — *Distretti dell' Harz e dell' Erzgebirge*, 75. — *Vosgi*, 76. — *Cornovaglia*, 77. — *Santiago di Cuba*, 78. — *Alpi e Prealpi*, 79. — *Minerali associati ai graniti*, 80. — *Ai serpentini*, 81.

40. La struttura, i modi di giacimento e l' azione meccanica esercitata sulle rocce incontrate nella sotterranea via non sono i soli caratteri, che ci assicurino dell' origine vulcanica delle rocce composte. Le lave esercitano anche un' azione fisica. Quest' azione molteplice è dovuta principalmente all' alta temperatura, di cui sono dotate le lave, che agiranno quindi diversamente, secondo la natura delle rocce che incontrano. Dobbiamo poi aspettarci delle modificazioni che avranno effetto dall' attività chimica della lava stessa, o meglio, dei vapori, dei gas, dei liquidi, che accompagnano sempre l' emissione delle lave. Le modificazioni della roccia, che incassa le rocce cristalline, o che ne è ricoperta, se sono analoghe o identiche a quelle che le attua li lave producono sulle rocce, colle quali vengono a contatto, o se possono trovare una ragione immediata nel contatto della roccia cristallina, supposta che sia una lava, divengono altrettante prove dell' origine eruttiva della roccia modificante.

Digitized by Google

41. Ma l'azione vulcanica non si arresta allo sole parti, che sono in contatto immediato colle lave; nè la lava è sola ad agire. I vapori e i gas, che si sviluppano dalle lave, operano anche per proprio conto, e non solo modificano, ma creano. Le incrostazioni, le sublimazioni, che rivestono i labbri dei crateri e dei fumajuoli, appartengono ad una serie di fenomeni vulcanici, che avvengono fuori dei dominî delle lave, ma in rapporto con esse. Noi non sappiamo fino a quale distanza possa manifestarsi quest'azione mediata delle lave; sappiamo però, che le manifestazioni della famiglia delle emanazioni gasose e delle sorgenti termali, non mancano mai di rivelare all'ingiro di un vulcano, l'attività del vulcano stesso. Avremo dunque una nuova serie di fatti, i quali, se manifestano l'azione di antiche *fumaiuole*, di antiche *stufe*, di antiche *sorgenti minerali*, intorno ad una massa cristallina; saranno altrettanti testimonî dell'origine eruttiva di quella massa.

42. Distinguiamo adunque due ordini di fenomeni, differenti nell'origine, nell'effetto, nel modo di presentarsi, benchè attestino ugualmente la vulcanicità delle rocce. Appartengono al primo ordine tutte le modificazioni, che avvengono pel contatto immediato delle lave. Il complesso di questi fenomeni costituisce ciò che noi chiamiamo, con parola consacrata dal commune consenso, *metamorfismo di contatto*. Appartengono al secondo ordine quei fenomeni i quali si oprano essi pure, come i primi a immediato contatto delle lave, ma avvengono pure senza l'immediato loro concorso, e anche lontano da esso. Siccome questi fenomeni sono prodotti da quella stessa attività, che io chiamai *attività perimetrica* (*Parte prima*, § 916), e che si manifesta all'ingiro di un vulcano, di un distretto vulcanico, di una zona vulcanica; così il loro complesso verrà indicato col nome di *metamorfismo perimetrico*, che si manifesta all'ingiro di una massa cristallina, di un distretto cristallino, di una zona cristallina.

43. Il *metamorfismo di contatto*, ridotto dal significato soverchiamente largo, che gli attribuì originariamente Delesse, a significare le modificazioni che si presentano alla superficie, e fino ad una certa profondità, nelle rocce a contatto immediato di una roccia cristallina-composta, presenta un numero non grande di fenomeni, che rispondono agli effetti, cui vediamo giornalmente prodotti dalle lave, o che si possono artificialmente produrre col contatto di una materia messa nelle condizioni e portata all'alta temperatura delle lave.

Abbiamo veduto come la lava, scorrendo un paese, carbonizza e incendia per semplice irradiazione; fonde talora le lave preesistenti; fonde ed ossida metalli; in fino produce quanto può produrre una materia incandescente. Gli effetti che devono prodursi dal contatto di una materia incandescente con altra di qualunque natura, sono tali, che non farà bisogno nemmeno di trovarli tutti registrati, come realmente operati dalle lave, per pigliarli, quando si presentano, come indizî dell'origine vulcanica di una roccia. La cosa è così evidente, che c'è pericolo di attribuire piuttosto più che meno all'azione della sola temperatura, o, come si diceva, del fuoco. L'effetto metamorfico dev'essere complesso, come è complesso l'agente, ove all'attività fisica della temperatura, si aggiunge l'attività chimica dei vapori e dei gas, e tutto questo in speciali condizioni di pressione, di separazione dall'atmosfera, e via discorrendo.

44. I plutonisti dell'antica scuola non presero di mira che il semplice calore portato dalle rocce eruttive a contatto colle rocce preesistenti, e, rendendo praticamente omaggio all'antico adagio *post hoc ergo per hoc*, attribuirono all'azione del calore qualunque modificazione rimarcassero nelle rocce a contatto o in vicinanza delle masse

eruttive. Avremo occasione di ritornare altre volte sulle esagerazioni dei plutonisti, combattuti singolarmente da Bischof, il quale, con Delesse, Danbrée ed altri, intese a mostrare quanta parte abbia invece l'acqua nei fenomeni di metamorfismo. Non bisogna però negare affatto la virtù metamorfica che deve esercitare una lava incandescente anche per ciò solo che è incandescente. Certo anzitutto, che l'azione del calore, emanato da una lava incandescente, non può farsi sentire efficacemente, che entro limiti assai angusti. Il calore delle lave non è superiore a quello dei nostri alti forni, ove il fuoco arde anche un intero anno, senza che la parte esterna della muratura se ne risenta. Certo, in secondo luogo, che alla produzione di quegli effetti, i quali si attribuiscono specialmente al calore, contribuiranno facilmente altri agenti, come i gas, i vapori e singolarmente l'acqua. Ma, volendo attribuire a ciascuno il suo, è pur certo che la temperatura si rivendica la sua parte.

45. La fusione, ossia la vetrificazione delle rocce a contatto, sarà uno degli inevitabili effetti, quando la temperatura è sufficiente, e le condizioni opportune Ma tali condizioni, a quanto pare, si verificano assai di rado. Io non trovai infatti citato che un solo caso di fusione di una roccia invasa da una corrente di lava; è narrato da Recupero, ed io lo riporto letteralmente dai *Principes de géologie* di Lyell (Paris, 1846, T. II, p. 148). Durante l'eruzione dell'Etna nel 1766, Recupero stava osservando dalla sommità di una collinetta la marcia lenta e graduata di una corrente larga due miglia. Ad un tratto due ruscelli di materia in fusione si staccano dalla corrente principale attraverso un crepaccio, formatosi nella crosta, che faceva parete alla corrente. Lui e la sua guida non ebbero che il tempo di fuggire, mentre la collina, alta non più di 15 metri, circondata dalla lava, in un quarto d'ora era distrutta e scorreva colla lava infuocata.

Il descritto effetto deve verificarsi di rado per le correnti che scorrono a cielo aperto, poichè l'involucro di scorie che s'improvvisa attorno alla corrente (*Parte prima*, § 821), serve di difesa alle rocce in contatto; ma deve più facilmente aver luogo sui fianchi dei dicchi, ove detta causa impediente deve essere o tolta o diminuita.

46. Le trachiti delle Isole Ponza hanno forma di dicchi, injettati attraverso una massa di pomici vetrosi. Il metamorfismo guadagna più metri dalla superficie di contatto. Le pomici, vetrificate e trasformate in obsidiana nera in vicinanza alla trachite, passano, più lungi, al Pechstein (retinite), quindi alla perlite ed alla trachite fetucciata (Scrope, *Les volcans*, pag. 330). Secondo le osservazioni di Bunsen, dove i dicchi trappici nell'Islanda attraversano i tufi trappici e le fonoliti, esse rocce sono frequentemente trasformate in obsidiana o in retinite, fino alla profondità di parecchi piedi. Lo stesso effetto avrebbero colà subito le argille, secondo Krug, vedi Nidda.

47. I medesimi effetti furono operati dalle rocce cristalline più antiche. Naumann (*Lehrbuch der Geognosie*, Tom. I, pag. 736 e seguenti), da cui abbiamo preso i due esempî, or ora citati, ce ne riporta altri parecchi. Le *arenarie variegate*, a contatto colle rocce cristalline, sono in più luoghi della Germania coperte di smalto lucente, o quasi scorificate. Sono frequenti i pezzi di granito involti nelle lave dei vulcani dell'Alvernia, i quali appajono scorificati e vetrificati come i graniti e i grès devoniani nelle lave dell'Eifel, o meglio, come i graniti, che furono assoggettati al fuoco di una fornace. Gli schisti argillosi siluriani appajono, secondo Davis, calcinati e semivetrificati dai porfidi nelle isole presso Tremadoc. Russegger descrive le arenarie del Dschebel-Gekdul, nel deserto Bahiuda, fuse, vetrificate, a contatto dei porfidi quarziferi.

Digitized by Google

48. La completa vetrificazione non sarà quella che più frequentemente appaja; ma l'azione dell'alta temperatura si può in più guise manifestare. Il granito, osserva Delesse, nelle fornaci da vetro, si rammollisce, ed anche si fonde. Si fondono cioè il mica o il feldspato. Il quarzo solo resiste, sicchè la roccia appare cariata; presenta cioè l'aspetto che si osserva sovente nel granito a contatto colle lave. Se trattasi di argille, sappiamo che i mattoni, prima che vetrificarsi, si cambiano in terra cotta, indurendosi e assumendo un color rosso, più o meno intenso. Fu infatti da molti notato come le rocce argillose, in contatto colle eruttive, divengono rosse, in guisa da scambiarsi colla terra cotta. Alcuno (Bischof, se ben mi ricordo) fece rimarcare, come quel colorimento si potesse attribuire ad un'azione chimica, e precisamente allo sviluppo dell'ossido di ferro. Comunque sia, trattasi sempre di un caso di metamorfismo, che si verifica così sovente a contatto colle rocce cristalline, che non si può dubitare di ripeterlo da esse. Fu indicato a Madera, alle Canarie, e la roccia così modificata, composta di silicati di allumina od ossido di ferro, fu chiamata *laterite*. Che gli strati argillosi rossi, ossia di laterite, che servono di base alle lave basaltiche dei vulcani non siano talora che antichi suoli, mostrollo con certezza l'isola di Madera, ove Smith di Jordanhill trovò rami o radici di arbusti carbonizzati nell'argilla rossa inferiore al basalte presso Funchal (Lyell, *Manuel*, Tom. II, pag. 305). Mi occorse di osservarne due esempî molto parlanti. Il primo a Bagnorea, entro i dominî del lago di Bolsena. Una poderosa corrente di lava uscì colà dal Monte Rado, piccolo cratere laterale al gran cratere di Bolsena, forse l'ultimo che si spense, e certo molto recente, come lo provano lo stato conservatissimo del piccolo cono, e della corrente, non che le scorie e le bombe, giacenti all'ingiro, sulla superficie del suolo. Quella corrente di lava basaltica, assai compatta nella sua porzione inferiore, è scavata colà, ed impiegata nell'edilizia. La si vede quindi benissimo ricoprire, a contatto immediato, uno strato argilloso, certamente un letto di ceneri, o un antico suolo, il quale si piglierebbe per vero mattone, salvo che non ne ha la durezza, essendo piuttosto terroso. L'altro esempio mi si offerse sulla sinistra dell'Elba, appena fuori di Aussig, rimontando il fiume. Trattasi di un dicco trachitico, a decomposizione sferoidale, che sbuca verticalmente, incrociando i grandi letti orizzontali di tufo. Tra il dicco e i tufi havvi un vero conglomerato di frizione, parallelo al dicco, risultato di una miscela meccanica di trachite e di tufo. Le porzioni di tufo che rappresentano la parte cemento si sono fatte di color mattone assai vivo. Il fatto è espresso nel presente *diagramma*.

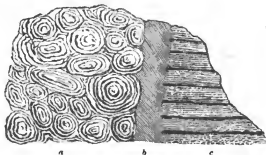



Fig. 1. — Dicco trachitico nei tufi presso Aussig.
a. Dicco trachitico. — *b.* Salbanda metamorfizzata. — *c.* Strati di tufo vulcanico.

Digitized by Google

49. Ma le stesse rocce argillose presentano qualche cosa di più deciso. Ognuno sa che le porcellane si ottengono col sottoporre lo argille, e, più precisamonte, i caolini, all'azione di alte temperature, mescolandoli con alcali o con altri fondenti, che facilmente si trovano in natura associati alle rocce alluminose. La trasformazione quindi del caolino in porcellana è una semivetrificaziono, è una specie di silicizzazione, è, comunque, un fenomeno, che attesta l'azione di un'alta temperatura, quale possono avere le lave nell'atto cho erompono dal suolo. La conversione delle rocce argillose in diaspro, o in una sostanza che si rassomiglia moltissimo alla porcellana, è fatto volgarissimo. Naumann ne cita un buon numero di esempî. Si osserva anzitutto sovente nelle rocce argillose, marnose, a contatto coi basalti. Gli schisti del lias sul Wartenberg, presso Donaueschingen, sono convertiti in una sostanza simile al diaspro. In molte località basaltiche della Boemia, dell'Irlanda e altrove, gli stessi schisti hanno vestito la forma della pietra focaja, o del diaspro. Questa diasprizzazione d'ordinario è poco profonda, quasi superficiale; ma Henslow cita l'esempio dello schisto argilloso dell'isola Anglesea, il quale, a contatto con un dicco di basalto, è convertito in diaspro-porcellana; più internamente ha tale struttura che lo avvicina alla selce piromaca; poi questi caratteri scompajono, ma non così presto che, a 30 piedi del dicco, non si noti ancora nello schisto una durezza superiore all'ordinaria. I melafiri si comportano como i basalti. È ancora Naumann che ci informa come, per esempio, sul Schaumberg tra Tholei e Thelei, lo schisto argilloso sia convertito in nero diaspro, e come gli schisti di Wengen siano convertiti in diaspro fetucciato, ugualmente dal melafiro.

50. Agli esempî raccolti da Naumann si potrebbero aggiungere altri infiniti citati da Delesse.

Tale è l'origine del diaspro dell'Uralo, e di quello di Toscana, in tanto pregio presso l'arte decorativa. Il primo è a contatto di un porfido augitico, ed eccone l'analisi, fatta da Rose (*Reise nach Ural*, Vol II) e riportata da Delesse (*Études*, etc. pag. 218.)

Selce	79, 51
Allumina	9, 24
Protossido di ferro	3, 32
Calce	4, 31
Magnesia	0, 51
Potassa	0, 32
Acqua	1, 56
	98, 77

Vedesi da questa analisi come non trattasi infino che di una argilla diasprizzata.

51. Il diaspro di Toscana, detto da taluni *gabbro rosso*, sarebbe il risultato della conversione dei così detti dai Toscani *schisti galestrini*, operata dai serpentini, a cui si associano l'eufotide e la diorite. Gli schisti galestrini (Burat dice il macigno) mano mano che si avvicinano alla roccia eruttiva, perdono il carattere della stratificazione, assumono una struttura prismatica, talvolta così regolare, che, per essa, e pel color rosso di cui si caricano, sono chiamati *mattoni*. Offrono del resto alla celebre arte de' mosaici firentini tutte le desiderabili gradazioni di tinte d'ogni colore. In prossimità della roccia eruttiva, è difficile distinguere da quella il *diaspro*, ossia il *gabbro rosso*, divenuto massiccio, e carico di minerali.

Le analisi, riportate da Delesse, dei diaspri del Capo Romito (presso Livorno), e dell'Impruneta, sono le seguenti, e mostrano ancor meglio, come i diaspri non siano che argille indurite, a modo delle porcellane, per effetto dell'alta temperatura.

	Gabbro rosso.	
	del Capo Romito	*dell'Impruneta*
Selce	84, 50	60, 46
Allumina	6, 00	30, 38
Ossido di ferro	3, 50	4, 21
Protossido di manganese	— —	1, 08
Calce	1, 03	2, 45
Magnesia	tracce	0, 95
Potassa e soda	1, 95	— —
Acqua	2, 47	0, 48
	99, 45	100, 01

Anche i graniti, benchè più di rado, offrono i più chiari argomenti di una azione che li accorda sempre più alle rocce di pretta origine vulcanica. L'esempio del calcare argilloso di Glen Till, convertito in una specie di petroselce (*hornstone*) in contatto col granito, è citato da Delesse, il quale riporta molti esempî dell'indurimento, e della conversione degli schisti argillosi in diaspro a contatto coi graniti. Si citano esempî di vera silicizzazione, operata dalle rocce cristalline. Per esempio, le argille o gli schisti arenacei, injettati di basalte, nell'Isola de' Ciclopi, furono trovati alterati da Lyell a contatto dei dicchi di lava. Le argille erano convertite, sopra una lista, che si adatta al dicco, in schisto siliceo (Lyell *Manuel*, II, pag. 321, fig. 662). Lo stesso Lyell riporta di un dicco d'Irlanda, che avrebbe convertito in piromaca una massa di grès rosso. È probabilissimo, che si tratti ancora semplicemente della conversione in porcellana naturale, ossia in diaspro.

52. Gli esempî accennati di metamorfismo (e fui molto parco in citarne) ci dicono l'azione immediata del calore sulle rocce feldspatiche sulle arenarie, sulle argille, sulle marne, su quelle rocce infine che costituiscono la maggior parte delle formazioni sedimentari, e quasi la totalità delle stesse rocce composte, le quali possono aver servito di canale d'efflusso ai magma vulcanici di qualunque epoca del globo. Gli effetti di questa azione si possono ridurre a quello che si chiamerebbe *vetrificazione*, attribuendo alla parola il più largo significato. I diversi risultati di questo processo dipendono dalla diversa natura della sostanza su cui si opera, non dalla diversità dell'agente. I graniti, i serpentini, e i porfidi agirono come i basalti, i trap e le lave moderne. Le rocce feldspatiche, quelle stesse di cui si giova l'arte vetraria, furono convertite in vetri; le rocce argillose, quelle a cui si volgono i fabbricatori di porcellane, si convertirono in porcellane naturali, conosciute dai mineralogisti sotto il nome di diaspri o porcellaniti. Alle mille gradazioni delle rocce, rispondono le mille gradazioni dei prodotti metamorfici, come otterrei mille gradazioni di vetri, di smalti, di porcellane, gettando, l'uno dopo l'altra nella fornace le rocce a base di feldspato, le argille, i caolini, i grès, i calcari, e gli schisti argillosi. L'agente è sempre lo stesso: la temperatura elevata, la quale, se non opera tutto sola nel *metamorfismo di contatto*, opera con decisa preponderanza. Le parzialità, che possono, presentarsi

Digitized by Google

luogo per luogo dalle diverse rocce a contatto con una massa eruttiva, costituiscono una casistica infinita, che, se può dare argomento di interessanti monografie, deve essere sorvolata dalla scienza elementare, intenta a cogliere soltanto i sommi principî , le grandi leggi della natura.

53. Lasciando da parte le rocce, che si possono ridurre alla serie delle rocce feldspatiche ed argillose, costituenti infine, per Daubreé, il solo gran gruppo delle *silicidi*; ci troviamo ridotti quasi unicamente alle *carbonidi* dello stesso Daubrée, cioè alle calcaree, ed ai combustibili fossili, figurando le altre quasi come eccezioni nel gran regno delle rocce.

Se io opero col fuoco sopra i calcari, o sopra i combustibili ottengo dei prodotti che non hanno a che fare nè coi vetri, nè colle porcellane. Bisognerà dunque che lo stesso avvenga in natura; bisognerà che le metamorfosi delle rocce calcaree e dei combustibili fossili, a contatto colle rocce eruttive, rispondano a quelli che io otterrei, applicando alle stesse rocce una temperatura elevata. Lo studio comparativo ci permette già di tradurre questa teorica in un fatto.

54. Che avviene, quando si getta un calcare nella fornace? esso si calcina; perde cioè il suo gas acido carbonico, e diviene molle, terroso, pulverulento. Ciò accade, operando a libera aria, ove nulla si oppone allo svolgimento del gas. Cuocendo invece il calcare in chiuso ambiente, che non lasci al gas uno spazio sufficiente per svolgersi, la calcinazione sarà impedita, e mi rimarrà nella storta un calcare modificato dal calore, ma ancora in possesso del suo acido. Quali debbano esserne le modificazioni sarebbe difficile indovinarlo *a priori*; ma l'esperienza ce lo ha insegnato. Infatti gli esperimenti di Hall, Bucholtz, Cassola, Hauffmann e Faraday hanno dimostrato che il calcare, sotto la doppia influenza di una temperatura mediocremente alta, e di una certa pressione, assume l' indole cristallina, cioè si converte in calcare saccaroide (Delesse, *Études*, etc. pag. 29). Faraday ci insegna qualche cosa di più a proposito pel caso nostro; ed è che, anche sotto una pressione per nulla considerevole, il calcare riscaldato si modifica, ritenendo il suo gas carbonico, quando sia circondato da una atmosfera di vapori. Ho detto che ciò fa meglio al caso nostro, poichè vedremo più tardi, come a tutti questi processi metamorfici non possono essere estranei l'acqua, o i vapori acquei, che non mancano mai di associarsi alle lave.

55. Un calcare, a cui si sovrapponga una corrente, o si trovi sommerso entro un dicco di lava infuocata, non è egli nelle condizioni volute dalle esperienze suddette? Il calcare saccaroide si trova appunto determinato dal contatto delle lave più recenti, come de' più antichi graniti: irrecusabile argomento dell'origine vulcanica delle rocce cristalline.

Convertiti in saccaroide si trovano infatti i massi calcarei involti nelle lave del Monte Somma. Un calcare recente, d'origine organica, si distende sopra gli espandimenti vulcanici, nell'Isola di S. Jago, una delle Isole del Capo Verde. È una piattaforma regolarissima, un vero tetto di calcare bianco, estremamente ricco di recenti conchiglie, una tavola dello spessore di 20 piedi, sovrapposta ad una formazione basaltica, e ricoperta alla sua volta da un espandimento di lava basaltica, dello spessore di 80 piedi. Quel calcare è profondamente metamorfizzato, singolarmente indurito a contatto colla lava, e screpolato in masse prismatiche (Darwin, *Volcanic Islands*, pag. 1).

I basalti, incrociando e ricoprendo così frequentemente le formazioni calcaree, offrono mille casi del metamorfismo in discorso. Si trovano frammenti di calcare, im-

prigionati ne'basalti di Val di Noto. Essi sono cristallizzati esternamente, e i cristalli, radianti verso il centro, si perdono nel calcare amorfo, interno. Nulla di più evidente per dimostrare come la cristallizzazione di quel calcare debba la sua origine al basalte. Fin le conchiglie di acqua dolce, scoperte nel Cantal sotto una corrente di basalte, che si distese sul fondo di un lago terziario, divennero cristalline (Scrope, *Les volcans*, pag. 89). L'esempio più parlante, riferito da diversi geologi, è offerto dall'isoletta Rathlin, sulle coste di Antrim, in Irlanda.

Due dicchi basaltici, paralleli, attraversano la *creta*. Quella porzione di calcare della creta, che rimane incluso fra i due dicchi, è convertita in voro marmo saccaroide; così, partendo dai lati esterni dei due dicchi, il calcare si mantiene cristallino fino a qualche distanza, finchè gradatamente lo si vede passare alla creta ordinaria. I fossili così communi nel calcare cretaceo, dalla porzione cristallizzata sono interamente scomparsi (Naumann, *Lehrb.*, I., pag. 751).

56. Identiche conversioni hanno luogo a contatto dei porfidi. Una località dalla quale riportai il pieno convincimento del modo con cui si manifesta l'azione delle rocce eruttive sulle calcaree, è ancora la Val Concossola, sopra Gandino, di cui discorremmo più indietro. Abbiam detto che il porfido anfibolico, in dicchi, filoni e vene, si injetta e serpeggia entro un calcare, di cui include sovente dei brani. Il calcare è compatto, bianco-sporco, e dolemitico; soggiace agli strati ad *Avicula contorta* (Infralias), e appartiene già probabilmente alla grande formazione dolomitica del trias alpino superiore. I massi interclusi, e gli strati a contatto, sono dal porfido convertiti in perfetto calcare statnario. Il metamorfismo è tanto più evidente, in quanto si limita a pochi centimetri, in contatto coi porfidi; mentre più oltre il calcare dolomitico è perfettamente inalterato.

57. Ma interessa di vedere come lo stesso metamorfismo abbia luogo a contatto delle rocce, la cui vulcanicità fu più sovente rivocata in dubbio. Zeuschner ci dice come presso Teschen, il calcare grigio compatto è convertito in marmo azzurro, cristallino, fino alla distanza di 15 piedi da una diorite. Per riguardo ai graniti gli esempî abbondano tanto, che ne riesce imbarazzante la scelta. Il calcare del lias, nell'isola Skye, fu trovato convertito in saccaroide a contatto della sienite, da Macculloch, Dechen, Oeynhausen, Geikie. Presso Corrie o Kilbride, la conversione del calcare liasico in saccaroide è messa fuor di dubbio dalla fortunata conservazione della *Gryphœa* anche entro la massa cristallina.

I seguenti esempî concorrono da una parte a provare l'origine del granito, dall'altra a segnalarne l'azione metamorfica.

E. de Beaumont rimarcò il calcare a belemniti delle Hautes-Alpes farsi granuloso ad alcuni metri di distanza dal granito, divenendo saccaroide al suo contatto. Simile alterazione delle rocce sedimentari osservò a Champoléon: essa si estende a circa 9 metri, del punto di contatto col granito. Il calcare è divenuto saccaroide; i letti argillosi si sono induriti; il grès convertito in quarzite. Mentre i sedimenti sono induriti, il granito è divenuto friabile e meno decisamente cristallizzato. Forse quest'ultima circostanza accenna ad una semi-scorificazione del granito, che perdette una parte dei vapori, attraverso ai peri delle rocce sedimentari. Il calcare diviene cristallino, come il devoniano de' Vosgi a contatto delle Minette, e il cretaceo nell'isola Tavolara (Sardegna), a contatto col granito. Il più bell'esempio sarebbe indicato da Rogers nel calcare siluriano di New-Jersey, che, terroso e grigio-azzurrognolo dapprima, si fa granuloso, diviene più chiaro, e assume finalmente una struttura decisamente cristallina a contatto del granito. Il metamorfismo ha una profondità di 15 metri

Digitized by Google

(Delesse, *Études*, pag. 321). Ma bastino gli esempi già citati, il cui numero sarebbe già veramente soverchio, se non si trattasse di dimostrare un vero fondamentale per la geologia, eppure così contradetto .... la vulcanicità dei graniti.

58. Scarsi documenti ho potuto rinvenire circa l'azione di contatto delle rocce serpentinose sulle calcaree. Alcune delle *oficalci* ove il calcare, abbondantemente legato ai serpentini, e formante con essi una breccia, presenta l'aspetto saccaroide, si potrebbero considerare come conglomerati di frizione che rivelano l'azione del serpentino sul calcare. Tali li ritiene il Perazzi che, nello scavo di una galleria nella Liguria, passato un dicco di serpentino di 3 metri, si abbattè nelle breccc serpentinose, calcaree, a grana saccaroide, con rilegature spatiche, note sotto il nome di *marmo di Levanto (Catalogo delle roccie ofiolitiche della Liguria orientale*, Torino, 1861). Insisterei maggiormente, se l'origine vulcanica dei serpentini non fosse già, ed essere non dovesse, ben altrimenti assicurata.

59. Ordinariamente si verifica, colla conversione del calcare in saccaroide, la scomparsa dei fossili. Nè è meraviglia, poichè le esperienze di G. Watt sulla fusione di diverse rocce, provano, come anche una fusione non completa basti a far sì, che si muti la disposizione mollecolare di una massa minerale, dal che conseguirebbe la scomparsa delle reliquie organiche (*Philos. Transact.* 1804. Lyell, *Manuel*, II, pag 432.) Accennammo tuttavia alcuni casi della loro conservazione, ai quali aggiungeremo quello della conservazione delle bivalvi nel calcare saccaroide di Musso, sul lago di Como, assicurataci dal signor Giulio Curioni.

60. Venendo ai combustibili fossili, che dobbiamo attenderci dal loro contatto collo lave? Indubbiamente la combustione, la distillazione, i più volgari fenomeni offerti dal giornaliero trattamento di essi combustibili, o in ambienti chiusi, o nella libera atmosfera. La distillazione, ossia lo svolgimento dei gas incomincia, secondo Delesse, per la torba a 260°, per la lignite a 300°, pel litantrace o per l'antracite a 400°.

La grafite, dice Delesse, si trova spesso vicino alle rocce granitiche, e fin nelle rocce medesime. È però specialmente sviluppata ne'gneiss, ne'micaschisti, e nel calcare saccaroide. Il litantrace mostrasi converso in antracite in prossimità del porfido quarzifero di Chassigny, ed è divenuto un'antracite prismatica (*columnar glance coal*) e impregnato d'idrossido di ferro a contatto del porfido quarzifero di Altwasser. Questi ed altri fatti, citati da Delesse, proverebbero che i combustibili si metamorfizzano a contatto delle rocce granitiche, del pari che a contatto del trapp; salvo il decidere nei singoli casi, se la conversione maggiore o minore di un combustibile, presenti un fatto speciale, attribuibile all'azione di rocce cristalline, piuttosto che un fenomeno ordinario di conversione chimica, che si opera in tanti luoghi, senza che vi sia nè contatto, ne'vicinanze di rocce eruttive. Ma i non dubbî esempî dell'azione immediata delle rocce cristalline sui combustibili non fanno certo difetto.

61. Molti fatti sono raccolti dallo stesso Delesse. La famosa grafite del Cumberland forma degli ammassi nel trapp. Un letto di carbon fossile a New-Cumnock (Scozia) è parzialmente convertito in grafite, che passa talora all'antracite o al litantrace. Il deposito è compreso tra due strati di trapp. L'antracite di Omouak (Groenlandia), non è che lignite, metamorfosata dal contatto di un trapp amigdaloide.

A Cockfield Fell (contea di Durham) il carbon fossile è allo stato normale, preso alla distanza di 30 metri da un filone di trapp. Ma a misura che ci accostiamo al filone, il carbone si altera, diviene polverulento, assume infine tutti i caratteri del coke. Lo stesso si osserva a Ballycastle (Irlanda), e il fenomeno si ripete in molti altri luoghi, citati da Delesse, a contatto coi porfidi, col trapp, colla dolerite, col ba-

salte. Celebre è sopratutto la lignite del monte Meissner. È una lignite d'epoca terziaria, dello spessore di 30 metri, coperta da uno strato d'argilla, quindi da una massa di rocce basaltiche, il cui spessore è di circa 200 metri. Dalla lignite normale, mano mano che ci accostiamo alle rocce vulcaniche, si passa ad una gagate o lignite picea, assai bituminosa; quindi ad una specie di carbon fossile, poco bituminoso, che va cangiandosi in una antracite, la quale in prossimità della massa vulcanica, è carica di ossido di ferro. Ad onta di tale metamorfismo, osserva Delesse, il diafragma di argilla, che si distende tra la lignite e le rocce vulcaniche, non accenna per nulla ad una temperatura molto elevata.

Lascio molti altri esempi, che voi potrete raccogliere dalle opere di Delesse, di Naumann, ecc., e ai quali potrei aggiungere le ligniti d'Aussig, in Boemia, di cui posseggo un bel saggio, ove si vede la lignite carbonizzata da una vena di basalte. Mi arresterò solo a un classico esempio che io ho potuto esaminare in persona.

62. A Dudley (Staffordshire) si trova uno degli strati di carbon fossile di maggior spessore in Europa. È un letto composto di diversi strati di puro carbone, formanti un complesso dello spessore di 30 piedi. Quando io visitai quelle cave, volle la buona fortuna che allora appunto si aprisse una nuova galleria ove aveva avuto luogo una eruzione di trapp nel fitto della massa carboniosa. Il bianco verdiccio della roccia vulcanica, incisa di fresco, spiccava sul fondo oscuro, nerissimo del carbone, per cui tu potevi seguire l'andamento del trapp, in tutte le sue più fine diramazioni. Esso veramente non formava un dicco; ma piuttosto una rete di filoni di qualche decimetro di spessore, da cui diramavano molte vene minori, e lo si vedeva serpeggiare entro la massa in modo bizzarro, quasi un fuoco d'artificio, o ciò per forse una ventina di metri, cioè quanto era lunga la nuova galleria. Potei allora verificare il fatto della combustione, o distillazione del litantrace operata dalla roccia vulcanica. A contatto del trapp, il carbone era modificato, sicchè si poteva dire che quel sistema di filoni e di vene avesse una vagina di coke, vagina che si adattava a tutti e singoli i filoni e i filoncelli. La nettezza di quella torrefazione era meravigliosa del pari che l'angustia de' suoi limiti; il coke, che rivestiva il trapp, spiccava netto, per lo splendore che gli è proprio, sopra una zona di 1 a 2 centimetri, tra il carbone, nero come l'ordinario, o la roccia trappica, verdiccia. Esperimentando al cannello i pezzi, che io portai al Museo di Milano, trovai che, a contatto del trapp, il carbone poteva dirsi convertito in grafite, non abbruciando, o non dando alcun odore di sostanze bituminose. A circa un centimetro di distanza il carbone abbruciava lentamente con qualche sentore di emanazioni bituminose; a circa 2 centimetri la combustione era viva, ma senza fiamma, o l'odore bituminoso ben accertato; alla distanza di 3 a 4 centimetri il carbone ardeva con fiamma, come il litantrace ordinario. Chi negherebbe a quel trapp un'azione simile a quella che sarebbe stata esercitata da un corpo comburente qualunque? Ma badate anche all' estrema angustia dei limiti di tale metamorfismo.

63. Accenneremo da ultimo ad un effetto del contatto colle rocce eruttive, che deve presentarsi, e si presenta infatti, assai communemente. Come l'argilla, disseccandosi, si screpola, cioè si separa in masse prismatiche; così avviene delle rocce più dure, per esempio, dei grès di cui si costruisce la muratura dei forni fusori; anch' essi cioè, per l'azione del fuoco, si fendono in pezzi prismastici. Questo fenomeno così semplice ha pure una tale importanza nella geologia endografica che noi intendiamo di consacrargli un capitolo a parte. Ritornando allora sul fenomeno della forma prismatica, ossia della divisione in prismi colonnari, cui presentano sovente le rocce a contatto colle cristalline, vedremo come l'alta temperatura delle rocce vulcaniche è una delle cause,

Digitized by Google

le quali possono doterminare un fenomeno che godo di una vera universalità, e che va quiudi considerato sotto un punto di vista molto più generale. Intanto è, ripeto, un fatto, che le rocce, a contatto di una roccia cristallina, si mostrano sovente divise in prismi, accusando un'influenza paragonabile a quella di una fornace. Riferendo sommariamente i caratteri con cui Delesse, Naumann, ecc., citando un mondo di esempi, distinguono, dai grès normali, i grès metamorfizzati dal contatto delle rocce eruttive; questi sono di una struttura vitrea, diasprina, cellulosa, prismatica. È celebre il grès di Wildenstein presso Büdingen, appartenente all'*arenaria variegata*, che, attraversato o inviluppato dal basalte, non solo venne, in parte almeno, diasprizzato e vetrificato, ma diviso in prismi colonnari, perpendicolari alla superficie di contatto, della regolarità delle colonne basaltiche e della lunghezza di 1 a 2 metri. Osservai io stesso una massa di grès carbonifero nelle vicinanze di Glasgow, pigliata in mezzo da due dicchi di trapp. Quel grès è indurito sensibilmente, e diviso in prismi allungati normalmente alle pareti di contatto col trapp. I fossili combustibili, così facili a contrarsi e a fendersi, presenteranno ancor più facilmente una forma, che è infine il primo e più ordinario effetto del disseccamento. La grafite e l'antracite di New-Cumnock (Scozia), modificazioni di un deposito di litantrace, chiuso tra due letti di trapp, si fendono in piccoli prismi, perpendicolari alla superficie di contatto (Delesse, *Études* pag. 40). L'antracite inoltre accenna, coll'essere cellulosa, allo sviluppo dei gas, che avvenne per effetto dell'alta temperatura dei trapp. Lo stesso Delesse cita molti esempî di litantrace e di ligniti a struttura prismatica, in rapporti immediati colle rocce vulcaniche; osservando del resto, come il litantrace e la lignite divengano talora prismatici, per semplice effetto di contrazione, prodotta dall'essicarsi all'aria. Al Museo di Milano può osservarsi un bellissimo saggio di carbon fossile prismatico, donatomi dal sig. Young di Glasgow. Si vede che formava parte di un letto di carbon fossile, modificato da alcuno di quei trapp, che si intrommisero, come già accennai, nella formazione carbonifera di quel ricchissimo distretto. Risulta di un gruppo di prismi quadrilaterali regolarissimi, che potrebbero dirsi altrettante asticelle di coke, del diametro di 2 a 3 centimetri, legati in un fascio. Mi venne pure donato dall'ingegnere A. Larcher di Aussig (Boemia) un pezzo di quelle ligniti ancora aderente al basalte. Offre anch'esso ben distinta la struttura bacillare, prismatica.

64. Riassumendo, il *metamorfismo di contatto*, cioè il complesso delle modificazioni apportate immediatamente dal contatto delle rocce cristalline, accusa già per se stesso, l'azione del calore di cui sono fornite le rocce vulcaniche o eruttive; di più le modificazioni delle rocce a contatto coi porfidi, colle dioriti, colle serpentine, colle rocce cristalline in genere, convengono perfettamente con quelle prodotte dalle rocce, la cui origine vulcanica è più assicurata, e che si vedono ripetersi dalle lave degli attuali vulcani. Se, a scanso di un inutile abboracciamento di fatti, non abbiamo, caso per caso, passato in rassegna tutte le roccie cristalline, per vedere se tutte producessero i medesimi effetti; se anche consultate le voluminose collezioni d'esempî di Delesse, di Naumann, etc., non troviamo un esempio per ogni singola roccia: troveremo tuttavia che i fatti si mutuano, si equivalgono, si compensano in guisa, che, dal loro complesso, deriva la più certa convinzione essere tutte le rocce cristalline composte tutte ugualmente d'origine vulcanica. I principali casi di metamorfismo di contatto si riducono ai seguenti:

1.° Fusione o vetrificazione delle rocce eminentemente feldspatiche.

2.° Cottura o riduzione ad uno stato simile a quello della terra cotta delle rocce argillose.

3.° Silicizzazione e diasprizzazione, ossia conversione in diaspro o in una sostanza simile alla porcellana, delle rocce silicco-argillose

4.° Cristallizzazione o conversione in saccaroide, delle rocce calcaree.

5.° Combustione o distillazione dei combustibili fossili.

6.° Basaltizzazione o divisione in prismi delle rocce senza distinzione.

65. Dal *metamorfismo di contatto* passando al *metamorfismo perimetrico*, questo si verifica in due modi: comprende cioè due serie di fenomeni. O sono modificazioni d'ordine chimico, apportate immediatamente alle rocce dall'azione dei vapori e dei gas che, o si svolgono dalle lave, o ne accompagnano o ne seguono l'emissione; o sono importazioni, emanazioni e quasi creazioni di minerali dovuti agli stessi agenti. Ognuno vede come i fenomeni che noi attribuiamo al *metamorfismo perimetrico*, devono spesso confondersi e identificarsi con quelli del *metamorfismo di contatto*. Ma è una necessità del metodo analitico di scomporre, e di considerare come fra loro indipendenti quegli elementi, di cui la natura crea un fenomeno complesso ed uno. Più, se i fenomeni, che noi prendiamo a considerare, si producessero limitatamente a contatto delle rocce eruttive, non avremmo fatto che estendere i limiti del *metamorfismo di contatto*; salvo sempre il comprendervi una serie di fenomeni non considerati finora. Ma, come accennai (§ 42), le metamorfosi perimetriche, abbracciano un campo quasi illimitato, ed hanno luogo anche a grandi distanze della roccia eruttiva; la quale rappresenta, per dir così, il fuoco d'una gran lente di attività vulcanica. Mantenendo dunque distinti i due ordini di fenomeni, prendiamo a considerare i fenomeni del *metamorfismo perimetrico*, come altrettanti testimonî della origine eruttiva delle rocce cristalline; e lo faremo assai brevemente, riserbandoci di trattare a loro luogo le grandi questioni, che vedremo balzar fuori, per dir così, da questa prima semplice ispezione di fatti importantissimi.

66. Lo studio delle eruzioni vulcaniche ci ha già insegnato come il vapor acqueo si svolga in copia immensa dalla lava, e come, finchè il vulcano dà segno di vita, sia desso il vapor acqueo che indefettibilmente l'afferma. Al vapore acqueo si associano vapori e gas diversi, e molti minerali in dissoluzione, probabilmente allo stato nascente, pronti a sublimarsi, a combinarsi. Mano mano che diminuisce la massa del vapore acqueo, le altre sostanze si accrescono, cioè si concentrano; per cui noi troviamo i fumajuoli, dalle lave o dei crateri, risultare di una miscela di sostanze diverse, ove il vapore acqueo, sempre facendone parte, cessa di esserne la principale (*Parte prima*, § 837).

Le osservazioni di Deville e di Silvestri hanno di già messo in chiaro, come ai diversi momenti della eruzione corrispondono emanazioni diverse. Ciò almeno si verifica per le fumajuole, cui il Silvestri divide in quattro categorie, ciascuna consistente di diverse miscele, e che si succedono cronologicamente, corrispondendo ciascuna ad un dato grado di abbassamento della temperatura. Siccome dall'identica lava si svolgono gas e vapori diversi, a seconda della diversa temperatura; è reso evidente come la formazione di quelle miscele vaporose o gazose, è creazione, ossia combinazione, del momento, dovuta a quella attività chimica interna che al momento si manifesta accidentalmente fino alla superficie in quel tal punto ove succede una eruzione, dove cioè si è aperto uno spiracolo dell'interna fornace. Se poi le combinazioni superficiali variano col variare delle temperature, è da dedursi, quasi come necessaria conseguenza, che varieranno anche secondo la profondità; dovendo appunto, secondo la profondità, variare le condizioni di temperatura, di pressione, e infine le condizioni di tutte le combinazioni chimiche.

Digitized by Google

Vedendo poi come i labbri dei fumajuoli si modifichino, scolorandosi, rammollendosi, e si rivestano di incrostazioni e di sublimazioni, è ragionevole indurne che altre modificazioni, altre incrostazioni, altre sublimazioni avverranno lontano dalla superficie, nell'interno, sia immediatamente lungo i condotti delle lave, sia nelle canne dei semplici fumajuoli, sia a qualunque distanza dal centro eruttivo, dove possono giungere le miscele vaporose e gazose, gravide di sostanze fisse, pronte a combinarsi, o dove anche soltanto arrivino le acque circolanti, mineralizzate dall'incontro delle miscele gazose, o risultanti dal concentramento dei vapori acquei.

67. Da tutto ciò si deduce infine che un vulcano (intendiamo d'attenerci alla definizione che ne abbiam data nella *Parte prima*, § 792), e quindi una roccia eruttiva, funziona come centro creatore o irradiatore indefinito di combinazioni d'elementi, cioè di minerali; che pertanto le rocce eruttive saranno contrassegnate da questo corteo perimetrico di minerali diversi; che poi di rimbalzo, l'accumulamento dei minerali attorno ad una roccia, ad una formazione, ne attesterà l'origine eruttiva. Ecco ciò che verrà sempre meglio dimostrato in seguito quando, venendo ai particolari, vedremo come i minerali, di cui sono ricchi i distretti eruttivi, accusano anch'essi per proprio conto un'origine vulcanica, rivelandosi come prodotti di incrostazioni vaporose, di sublimazioni d'indole vulcanica.

68. Distinguiamo due serie di fenomeni:

1.° Modificazioni apportate dagli agenti vulcanici alle rocce preesistenti.

2.° Formazioni e deposizioni di nuovi minerali.

Le modificazioni che l'azione dei vapori o dei gas possono apportare alle rocce preesistenti, sia nelle immediate dipendenze dei vulcani, come a indeterminata distanza da essi, e che possono continuare per un tempo indefinito, furono poco studiato. Chiunque può vedere sui fianchi del Vesuvio gli effetti dei vapori cloridrici, che si svolgono dalle fumajuole. Le nerissime lave assumono un color giallo vivissimo di solfo, senza che di solfo se ne incontri un atomo. L'interno de' crateri poi, quando fuma allo stato di solfatara, è un vero laboratorio, ove tutto si metamorfizza, ove tutto si macera.

La decomposizione della trachite della solfatara di Pozzuoli, che, sotto l'azione energica dei vapori, svolgentisi da quell'antico cratere, si imbianca, si sfarina, è un bell'esempio di metamorfismo, che si compie sotto i nostri occhi, per immediato effetto dell'azione chimica dei vapori. Il solfo, i solfati di ferro, di calce, di soda, d'allumina, il cloridrato di ammoniaca, il solfuro d'arsenico, vi si formano a spese degli elementi della trachite decomponentesi, associati agli elementi costituenti i vapori (Scrope, *Les volcans*, pag. 320). Allo stesso modo si formano, per l'azione dei vapori d'acido solforoso sulle rocce, l'acido boracico, e il sale ammoniaco, di che il commercio fa ricca raccolta nell'isola Vulcano.

Questa specie di metamorfismo, dipendente dai vulcani, continua, abbiam detto, per un tempo indefinito, anche dopo che il vulcano è estinto da secoli; al modo stesso che durano un tempo indefinito le emanazioni gazose, le stufe, le sorgenti termali derivate dai vulcani.

69. Il gneiss d'Alvernia è, secondo Fournet, in preda alla reazione del gas acido carbonico, che ne riempe costantemente le fessure, ed esala da tutte le parti. Gli elementi del gneiss sono, ad eccezione del quarzo, divenuti terrosi, ed hanno luogo diverse combinazioni dell'acido colla calce, col ferro o colla magnesia (Lyell, *Manuel*, II, pag. 434). Le stufe di San Calogero nelle Lipari hanno scolorato e alterato la massa tufica dell'altezza di 60 metri, sopra una estensione di 6 chilometri. Le argille oscure

sono divenute gialle, bianche, variegate, e sono percorse da zone ferruginose. L'ossido di ferro vi si sublima in certe fumajuole, e la calcedonia, l'ossalo, il gesso attestano il diverso modo di agire delle esalazioni vulcaniche (Hoffmann, *Liparischen Inseln.* Lyell, *Manuel*, II, pag. 434). L'azione dei gas sotterranei ha pur corroso le rocce dure e silicee di Corinto (Virlet, *Bull. Soc. geol.* T. II, pag. 230). I vapori di una sorgente calda a Aix-la-Chapelle, hanno ridotto pastosi alla superficie certi massi calcarei (Lyell, *ib.* pag. 345). Io credo che un fenomeno, affatto dell'ordine dei fenomeni già citati, sia nel maggior numero dei casi, la formazione dei caolini.

70. Abbiamo già citati gli esempî delle metamorfosi operate da uno dei più communi prodotti vulcanici, cioè dell'acido solforico, il quale si combina facilmente cogli elementi delle rocce preesistenti, per cui dalle rocce alluminose crea il solfato d'allumina, dalle ferruginose il solfato di ferro, dalle calcaree il solfato di calce, ossia il gesso (*Parte prima*, § 839). A proposito del gesso, che si produce anche attualmente per la conversione del calcare, operata dal gas solfidrico, io credo che dovrà esser considerato sovento come indizio di vulcanismo, e come un esempio assai facilmente percettibile di metamorfismo perimetrico, sia che il gesso si trovi a contatto colle rocce eruttive, sia che ne disti. I casi di contatto del gesso, colle rocce trappiche, coll'ofite, ecc. citati da Delesse, non hanno nulla di ben interessante. Sovente il gesso mostrasi cristallino, ma egli è tale a volte a volte, anche dove non v'ha contatto di sorta. Non si cambia punto in anidrite; dal che Delesse conclude alla poco alta temperatura delle rocce eruttive. Il perossido di ferro, l'oligisto, le zeoliti, ecc., si mostrano associati al gesso come al calcare, ecc. Io vorrei però sapere se è dimostrato che le rocce trappiche hanno veramente penetrato entro il gesso, in guisa che possa recar meraviglia il nessuno, o quasi nessuno, metarmorfismo. Delesse lo ritiene, perchè trova i dicchi trappici entro il gesso. Ma lo stesso gesso non sarebbe invece conseguente? non sarebbe egli stesso un prodotto di metamorfismo? non sarebbe un calcare metamorfosato in gesso, dall'azione dei gas idrosolforosi, che avrebbero accompagnato l'eruzione?

71. Io non ho potuto raccogliere un numero sufficiente di dati per dimostrare l'origine eruttiva delle diverse rocce cristalline, per mezzo delle modificazioni prodotte sulle rocce preesistenti dai vapori e dai gas, le quali, come han luogo attualmente, sia in immediata corrispondenza coi vulcani, sia lontano da loro, per le sorgenti o le emanazioni gazose che ne dipendono, dovettero avverarsi in tutti i tempi, per effetto dei vapori e dei gas che accompagnarono le emissioni delle rocce eruttive antiche, quando speciali circostanze non abbiano impedito lo sviluppo dei vapori e dei gas. Credo piuttosto sia questo un argomento da studiarsi, e passo quindi all'altra serie di fenomeni, caratteristici delle rocce vulcaniche e dei vulcani, cioè alla creazione dei minerali nelle regioni perimetriche. Qui la messe degli esempî non fa difetto; anzi è esuberante in guisa che potrebbe bastare il dedurne, come assioma, che i distretti vulcanici, del pari che i distretti, ove dominano le rocce cristalline, sono caratterizzati dall'abbondanza e dalla varietà dei minerali, nominatamente de'minerali metallici. La selce, e sotto le diverse forme della calcedonia e sotto quella del quarzo, è un minerale che si mostra abbondantissimo, sia a contatto colle rocce cristalline, sia nei filoni, nei quali non ravviseremo che dipendenze dalle stesse rocce cristalline. Ora la selce è uno dei prodotti più communi di quei vapori acquei, che si svolgono dai vulcani, o di quei vapori e di quelle sorgenti che sono in immediata dipendenza da loro. I Geyser d'Islanda, le sorgenti di San Michele nelle Azzore, le sorgenti e i Geyser della Nuova Zelanda, tutti dipendenze immediate di centri

Digitized by Google

vulcanici attivissimi, si ergono dei coni di selce, e di selce incrostano il circostante terreno. Le *stufe* d' Ischia incrostano di selce le loro bocche (*Parte prima*, § 675).

72. Alle diverse forme di selce aggiungete le sue combinazioni, cioè i silicati, i quali si presentano quasi costantemente nelle lave, e a contatto delle lave moderne ed antiche, sotto forma di zeoliti, cioè di silicati idrati.

Vedremo come gli studî di Bischof e di Daubrée conducano ad ammettere, come assioma, che alla formazione dei silicati cristallizzati, il che vuol dir quasi alla formazione di qualunque cristallo, è necessaria l'acqua. Ora uno dei fenomeni più costanti è la presenza di silicati, cristallizzati nell'interno delle rocce a contatto colle rocce eruttive. All'acqua, che accompagna la protrusione di ogni roccia eruttiva, all'acqua che impregna le stesse rocce, attraversate dal magma erompente, riscaldata dal calore stesso della lava, devesi attribuire il novantanove per cento dei minerali, che si presentano sulle zone di contatto, e all'ingiro de'camini vulcanici.

73. Oltre i silicati, noi troviamo un gran numero di minerali, che si associano alle lave, ed han vita con loro dall' attività vulcanica. Il solfo si sublima e si accumula ovunque, nei crateri, nelle solfatare, nelle fumajuole, e, lontano dai vulcani, ma entro la cerchia della loro attività perimetrica, è prodotto o dalle emanazioni gazose, o dalle sorgenti, e dà luogo a molte combinazioni. La soda compare nelle fumajuole sotto forma di cloruro di sodio, di solfato e carbonato di soda; la potassa come cloruro di potassio; l'ammoniaca come cloruro o sale ammoniaco; il ferro come sesquicloruro di ferro, come sesquiossido di ferro o ferro oligisto, come ferro speculare, e solfuro di ferro, ecc.: il rame come ossicloruro di rame, ossido di rame, ecc. Del resto il mineralogista, che fa bottino di così varî minerali nelle rocce del Somma e del Vesuvio, sa che noi siamo ben lungi dell' aver dato un'idea della fecondità mineralifica dei vulcani. Io non volli qui arrestarmi alle specialità, perchè, ripeto, dovrò farlo più tardi a miglior uopo. Qui ho riferito sommariamente quanto bastasse per giustificare l'asserto, che i vulcani funzionano, e quindi le rocce eruttive figurano, come centri mineralizzatori, per cui nelle loro immediate dipendenze, e lungo le vie, dischiuse anche lontano ai vapori e ai gas vulcanici, i minerali si generano si aggruppano. Ne deriva come corollario, che la copia dei minerali in intimi rapporti colle roccie cristalline, ne dimostra l'origine eruttiva.

74. Delesse, descrivendo i diversi casi di *metamorfismo di contatto*, si può dire che invariabilmente in ogni caso accenna all' esistenza di minerali cristallini, lungo le pareti dei dicchi, ossia alle salbande, compenetrando essi minerali tanto la roccia *incassante* quanto l' *incassata*. Notasi che in genere quei minerali sono queglino stessi che riempiono i veri filoni metalliferi, i quali pertanto, benchè formino dei sistemi a sè, disgiunti dai dicchi, e dalle grandi masse cristalline, rivelano una certa dipendenza, quella stessa che hanno coi vulcani le secondarie manifestazioni in cui si afferma l'*attività perimetrica*.

Fatto sta che, nè il mineralogista, per arricchire il suo gabinetto, nè l' industriale in cerca di minerali utili, e specialmente di metalli, si volgono in genere ai grandi distretti sedimentari, ma ai distretti cristallini, o meglio a quei distretti, ove le rocce cristalline rompono di frequente, specialmente in forma di dicchi, le rocce sedimentari, o altre rocce cristalline. Ciò equivale per noi a dire che il mineralogista e il metallurgista si volgono a preferenza ai distretti vulcanici. Una breve rassegna dei distretti più classici per l'abbondanza delle miniere metallifere, fatta sulla scorta di Burat (*Géologie appliquée*, I, pag. 476-499), servirà a mettere in piena evidenza il fatto che i minerali si serrano, si aggruppano, attorno alle masse cristalline, attestandone l'origine vulcanica.

Digitized by Google

Nel celebre distretto metallifero dell'Harz, i filoni, dice Burat, si trovano concentrati su certi *campi di frattura*, in intimi rapporti di posizione collo rocce dioritiche (*Grünstein*). A Andreasberg i filoni sono talvolta tagliati dai Grünstein, e talvolta li tagliano. Posti dunque tra due epoche d' eruzione delle stesse rocce, i filoni di Clausthal e d'Andreasberg rappresentano delle fratture e dei riempimenti i quali non sono evidentemente che fenomeni accessori della serie delle eruzioni trappiche; la produzione dei giacimenti metalliferi non è che un episodio particolare dello azioni vulcaniche di quell' epoca.

75. Sottoscrivendo pienamente alle conclusioni così espresse da Burat, dedotte dai rapporti tra i filoni e le rocce cristalline dell'Harz, intendo di estenderle, non solo al caso pratico in discorso, ma in genere a tutti i distretti metalliferi, ove si rivelano gli stessi, e talor più evidenti, rapporti fra le rocce cristalline, e i giacimenti metalliferi, dispensandomi così dal ripeterle volta per volta.

Nell'Erzgebirge i filoni di mispickel, di stagno, di galena, di blenda, di pirite, di cobalto, d' uranio, di bismuto, sono legati in guisa ai graniti, ai porfidi, ai basalti, da rivelare lunghi periodi di reazione interne del globo, che si sarebbero succeduti, in rapporto colle diverse rocce eruttive, dalle epoche più antiche, fino ai basalti dei terreni terziarî superiori. Nel Nassau, e nominatamente nei dintorni di Dillenburg, noti pe' loro giacimenti di pirite cuprea, di rame grigio, e di ferro olgisto, le rocce trappiche, sviluppatissime, sono disposte su certe zone, parallele alle zono sedimentari, che comprendono le formazioni siluriane, devoniane e carbonifere. Le rocce trappiche (trapp, varioliti, amfiboliti, dioriti, ecc.) di Dillenburg coprono una superficie di 8 a 10 leghe quadrate. L'esistenza dei filoni metalliferi è, dice Burat, subordinata alla prossimità delle rocce trappiche. Talvolta i minerali sono disseminati nella pasta stessa dei dicchi. Un dicco di Grünstein a Dillenbourg, è una miniera di solfuro di nickel, sparso in cristalli, in tutta la massa del dicco.

76. Nella parte meridionale della catena de' Vosgi i porfidi presentano uno straordinario sviluppo, e le maggiori varietà. Al tempo stesso vi abbondano i filoni metalliferi. Ricchi filoni di ferro oligisto, di galena, di pirite cuprea, di rame grigio, con matrici di quarzo e di baritina, o sono incassati nei porfidi, e nelle zone metamorfiche a contatto col porfidi, o subordinati alle dioriti e alle sieniti, che si legano coi porfidi.

77. Il distretto di Cornovaglia in Inghilterra è un distretto cristallino del pari che un distretto metallifero per eccellenza. La sua ricchezza principale consiste nelle miniere di stagno e di rame. Chi gettò un' occhiata sulle carte geologiche moderne d'Inghilterra non può non restare convinto degli intimi rapporti che legano i giacimenti metalliferi alle rocce cristalline. Centinaja di filoni metalliferi si aggruppano, si alternano, con centinaja di *elvans* o dicchi di porfido granitico; e tutto questo sistema di filoni e di dicchi circonda, attraversa le grandi masse granitiche, a cui si associano masse dioritiche, serpentinose, diallagiche, formando un grande complesso che attesta una attività vulcanica la quale per lunghe epoche esercitossi sotto quell' angusto lembo di terra, variando prodotti, che però tutti alla fine accusano una medesima origine.

78. I giacimenti cupriferi di Santiago di Cuba, che producono annualmente 40,000 tonnellate di minerali di rame, sono, dice Burat, giacimenti di contatto, subordinati ai *Grünstein* e ai serpentini. Più ancora evidentemente i filoni cupriferi di Kewena-Point, sulle sponde sud-ovest del Lago Superiore, donde si estraggono quelle masse gigantesche di rame nativo, si trovano in rapporto coi trapp eruttivi, che occupano

gran parte di quella regione. La stessa cosa si potrebbe ripetere, parlando delle celeberrime miniere di argento e di rame delle Ande del Chilì e del Perù.

Le miniere argentifere dell' Altai consistono in filoni, a matrice di quarzo, incassati nei porfidi. Le miniere cuprifere degli Urali sono comprese nelle rocce di contatto, che circondano i porfidi amfibolici. Anche il platino alluvionale sembra riferirsi, secondo Le Play, alle rocce serpentinose, come a punto di partenza.

79. Le regioni alpine e subalpine non figurano, forse immeritamente, tra i più classici distretti minerarî. Tuttavia la legge della dipendenza dei giacimenti metalliferi dalle rocce cristalline, anzichè smentita, è ovunque, e perfettamente, appoggiata. Le miniere ferrifere e cuprifere di Val d' Aosta si trovano in un distretto segnalato dalle abbondanti emersioni di graniti, di sieniti, di dioriti, di serpentine, ecc. I filoni di galena argentifera, di cui si va promovendo lo scavo nei dintorni del lago di Lugano e della Valsassina, segnano il perimetro della grande emersione porfirica, i primi, della gran massa sienitica, i secondi. Le miniere di ferro, di galena, di pirite cuprea nella provincia di Brescia segnalano la parte alta del paese, tutta traforata da buttate porfiriche. A tutti poi è noto il Tirolo, come il paese delle meraviglie eruttive, del pari che delle mineralogiche.

80. Questa brevissima rassegna, sufficiente per quelli che non abbiano delle cognizioni sui diversi distretti minerarî, ed esuberante per quelli che ne abbiano, ci serve a poter conchiudere: che se, come crediamo di aver dimostrato, l'abbondanza dei minerali cristallizzati in seno alle formazioni, e specialmente quelli disposti in filoni, a contatto o in prossimità delle rocce non sedimentari, ne testimoniano l' origine eruttiva, tutte le rocce cristalline composte sono eruttive. Essa origine è già assicurata, dai fatti accennati, anche ai graniti e ai serpentini: ci piace però ribadire un tale argomento in modo speciale.

Il *Lehrbuch* di Naumann, a tutti raccomandabile per la copia dei fatti raccoltivi, cita pure molti esempî della formazioni dei minerali, proprî dei filoni, sui limiti delle formazioni granitiche (*Lehrb.* II, pag. 249). De Buch e Keilhau descrissero gli ammassi di minerali sui confini dei graniti e delle sieniti della Norvegia. Le vesuviane, gli spinelli, i granati di Val di Fassa, di cui trovansi esemplari in tutte le collezioni, si scoprono sui confini tra i graniti e i calcari. Veri giacimenti di granito e di vesuviana, con spato calcareo, quarzo, wollastonite, grammatite, rame, galena, blenda, ferro ossidulato, ecc., si scavano nel Banato, sui limiti tra la sienite e il calcare. I giacimenti ferriferi di Canigou, si scoprono, secondo Dufrenoy, nel calcare che ricopre il granito, e talora nel granito stesso.

I monti laterali a sud della gran massa granitica di Bavono o Montorfano sono ricchi di galene e di piriti, di cui si attivano gli scavi. E così potrei continuare.

81. Quanto alle serpentine basti l'accennare alle ricchezze minerarie della Toscana e della Liguria, ove i celebri giacimenti cupriferi hanno tali rapporti di origine colle rocce serpentinose, che non vi ha geologo in Europa che li abbia disconosciuti. Il nome di *catena metallifera* fu dato appunto a quella serie di rilievi, ove culminano tante masse serpentinose, attraverso la Liguria e la Toscana. Terminerò, citando, in favore dell'origine eruttiva de'serpentini, l'esempio bellissimo di Reichenstein, nella Slesia prussiana, descritto da Burat (*Geol. appl.* lib. I, pag. 482). Un dicco di serpentino, dello spessore di 10 a 80 metri, attraversa il gneis. Il mispickel tiene dietro alla sua protrusione, col ferro ossidulato, colla pirite marziale e la blenda. Egli invade talora la massa eruttiva, sotto forma di piccoli cristallini, che le danno un aspetto porfiroide, o vi si annida in masse, o in vene cristalline.

Digitized by Google

IV. Si dimostra insussistente la distinzione generalmente ammessa di rocce vulcaniche e rocce plutoniche.

82. Le rocce composte, o cristalline, sono lave; hanno cioè origine vulcanica. Sono lave, perchè delle lave hanno la struttura cristallina; sono lave, perchè delle lave hanno il giacimento, mostrandosi in masse isolate, allineate, e specialmente in dicchi, che attraversano i terreni sedimentarî del pari che i cristallini; sono lave, perchè come le lave esercitarono una forza meccanica, di cui sono testimonî le rocce intercluse; sono lave, perchè come lave agirono fisicamente e chimicamente sulle rocce a contatto, producendo effetti che convengono perfettamente coll'alta temperatura delle lave; sono lave, finalmente perchè come le lave traggono immediatamente seco, o sopra un certo raggio all'ingiro, un corteo di minerali derivanti da quei vapori e da quei gas che accompagnano le lave.... Perchè dunque da taluni si nega alle rocce cristalline, nominatamente alle rocce granitiche, l'origine vulcanica? Perchè tutti,

forse senza eccezione, i geologi, anche quelli che ammettono l'origine eruttiva dei graniti (il *maximum* a cui possono arrivare i propugnatori del vulcanismo), distinguono poi le rocce cristalline in due serie, cioè in *vulcaniche o trappiche* e in *plutoniche*.

Confesso che io non l'intesi mal. Finchè si tratta di definire le *rocce vulcaniche* la cosa procede per bene; tutti ci intendiamo senza difficoltà. Le antiche *rocce vulcaniche* furono anche dette rocce *trappiche* o *trapp* da *trappa* (parola svedese che si traduce scala) perchè sovente foggiate a gradinate, dovute a masse tabulari sovrapposte. Questa disposizione è quella delle correnti o degli espandimenti sovrapposti. Alcuni considerano distinte le rocce trappiche dalle *vulcaniche*, formandone una serie a parte; ma siccome i geologi non provano in genere nessuna difficoltà a riconoscere la pretta origine vulcanica dei *trapp*, così io non insisto sopra questa distinzione affatto superflua. Le difficoltà cominciano quando si tratta di definire le *rocce plutoniche;* allora noi troviamo che i geologi divergono fra loro, anzi, a quel che pare, durano fatica ad accordarsi con loro stessi. Frasi incerte, caratteri indefinibili, distinzioni senza una linea di demarcazione; ecco ciò che rivela nei trattatisti l'impossibilità che provano nel voler dividere ciò che è essenzialmente, sostanzialmente, una cosa sola.

83. Lyell è uno di quelli che vollero distinguere le *rocce vulcaniche* dalle *rocce plutoniche*. Le seconde, egli dice, si distinguono dalle prime: 1.° per la tessitura più cristallina; 2.° per l'assenza di tufi e di brecce, prodotti di eruzioni subaeree, o a poca profondità sottomarina; 3.° per l'assenza di pori, o di cavità cellulari, cioè per la natura non scoriforme (Lyell, *Manuel*, II, pag. 378). Tutti questi caratteri sono, quanto si può dire, incerti; e sfido a fondarvi una distinzione delle rocce cristalline in due gruppi.

Incertissimo il primo criterio. Che si intende per *più cristallino?* Le lave leucitiche dei Colli Cimini, di Rocca Monfina, sono quanto di meglio può rispondere all'ideale di una roccia cristallina; veri aggregati di perfettissimi cristalli. Se vuolsi dire che tutti gli elementi del granito sono cristallizzati, mentre nelle lave è generalmente un solo minerale, ben cristallizzato, in una pasta amorfa, benchè cristallina, rispondo dapprima come certe lave augitiche più moderne, sono affatto cristalline; rispondo in secondo luogo che ridurremo le rocce plutoniche ai soli graniti, e ancora troveremo un passaggio tra essi e tante rocce sienitiche, porfiriche, dioritiche, ove un solo elemento si offre in cristalli, entro una pasta più o meno cristallina.

Il secondo criterio è parimenti fallace. — Dal momento che si trovano così enormi masse di dioriti, di porfidi, ecc., non associate nè a brecce, nè a tufi; l'assenza delle brecce e dei tufi granitici non è, quando sia, che un fatto negativo di nessun valore; poichè i graniti poterono prodursi nelle stesse condizioni delle dioriti, dei porfidi, dei basalti compatti, senza essersi mai trovati in condizione di produrre, come i porfidi e i basalti, brecce o tufi.

Per quest'ultima ragione non val nulla nemmeno il terzo criterio. Del resto hanno forse cellule distinte tanti porfidi e tanti trapp anche più recenti? E non vi hanno anche nei distretti vulcanici più recenti lave cristalline, compatte, senza cellule? Se tutto si riduce ad una questione di rapporto, dirò, topografico tra le forme delle identiche rocce, la forma compatta, la forma scoriacea e la forma tufica, vi saranno da cercar le ragioni, perchè certe rocce presentino una o due piuttosto che tutte le forme presentate da altre; ma non potrò disgiungere ciò che sempre, sotto una, sotto due, sotto tre forme è sostanzialmente uno. Noi abbiamo veduto come tutte le

Digitized by Google

rocce composte sono impasti cristallini, che hanno identica struttura, identici modi di giacimento, e produssero identici effetti.

84. Quando io dico che il granito è di origine vulcanica, che il granito è una lava, non intendo però di aver nemmeno abbordata la questione del modo con cui si origina il granito. Altro non ebbi di mira, che di ridurre il granito e le rocce granitiche alla condizione delle altre rocce composte, degli altri *magma cristallini*, delle altre lave, riconoscendone per tutte ugualmente l'origine vulcanica, il che, per anologia, rende assai probabile un modo analogo di generazione sotterra. Volli combattere il modo parziale con cui la scienza si è diportata coi graniti, in confronto alle altre lave; togliere quelle eccezioni le quali, se giuste quando siano mantenute entro i limiti della accidentalità che distinguono i graniti dalle altre lave, come le altre lave fra loro, cessano di esserlo, tosto che invadono quanto vi ha di sostanziale. La tendenza a separare il granito dalle altre rocce eruttive, per farne una specie di mito geologico, la si sente assai bene anche nei seguenti periodi che io tolgo dallo stupendo *Rapport sur le progrès de la géologie expérimentale*, ove il signor Daubrée, argomentando benissimo sulla necessità in cui si trova oggi la geologia, di associare l'esperimentazione alla osservazione, così prosegue:

« Per esempio, si spinsero allo minuzie le indagini sui caratteri del granito, sul suo andamento, sulle sue frequenti ramificazioni entro le rocce incassanti. Si posseggono analisi delle sue varietà in gran copia, e si è molto discusso della sua origine. Malgrado ciò si comincia oggi appena a subodorarne il modo di formazione, problema così interessante per le prime età del globo.

» Dalla esperienza sintetica soltanto verrà luce a tale questione. Quel giorno in cui uno arriverà a riprodurre tutti gli elementi costitutivi del granito, non già separati ad uno ad uno, ma insieme associati, come si presentano in tutti i graniti del globo; quel giorno, in breve, in cui si sarà fabbricato del granito, sarà giorno di grande conquista, per il metodo esperimentale non solo, ma per la cognizione della storia del globo terrestre » (*Op. cit.*, pag. 4).

Sarà in fatti un giorno sfolgorante di luce per la geologia, che forse tarderà ancor troppo a spuntare. Ma è forse più vicino quello in cui potremo ammanirci una lava qualunque? Che si è ottenuto di più per le altre lave? Sarà un gran giorno, ma non già soltanto perchè avremo appreso per quale processo la natura giunse a produrre il granito, ma perchè le avremo strappato in genere il segreto della formazione delle lave. Sarà però un giorno ugualmente splendido quello in cui si giungesse a produrre una diorite, un porfido, un leucitofiro. Aspettando con fiducia tali portenti dalla *geologia sperimentale*, non vorremo dividere ciò che la *geologia pratica* così indissolubilmente congiunse.

85. Al postutto però i miei lettori mi vorranno domandare: se così evidente può dimostrarsi l'identità d'origine tra le rocce vulcaniche e le plutoniche, perchè i geologi furono così unanimamente d'accordo nel distinguere le due serie? Se si trovarono poi imbarazzati nell'assegnare a ciascuna serie dei caratteri distintivi, ciò non vuol dire che le differenze realmente non esistano, differenze che talvolta meglio si sentono e si colgono dal pratico, che non si definiscano dal teorico.

Differenze tra roccia e roccia, tra gruppo e gruppo di rocce certamente ne esistono: nè io volli far credere che i geologi agissero a capriccio, distinguendo una serie di *rocce vulcaniche* da una serie di *rocce plutoniche*. Ma in esse differenze non vi ha nulla nè di stabile nè di essenziale che possa servir di base alla divisione adottata. Sono differenze instabili che hanno il carattere di accidentali; che vanno però

studiate per scoprirne le ragioni. Anzi noi ci ripromettiamo con questo studio di fare un gran passo nella *geologia endografica.*

86. Per far risultare quelle differenze, sulle quali fu basata quella qualunque distinzione tra rocce vulcaniche e rocce plutoniche, bisogna accostare gli estremi. Vedremo infatti come ne' medî le differenze si confondono e sfumano. Mettiamo dunque a confronto una lava, o piuttosto una formazione vulcanica moderna, con una formazione granitica. Confrontiamo, per esempio, il Vesuvio attuale col Montorfano del Lago Maggiore. Le differenze sono tali e così sentite, che pare a prima vista assurdo qualunque tentativo, non dirò di identificazione, ma di un avvicinamento qualunque. Se ci facciamo tuttavia a decifrarle freddamente, vediamo che esse si riducono ad un certo numero di ben definite accidentalità, le quali non distruggono punto quelle circostanze di struttura, di giacimento, di metamorfismo per le quali abbiamo dimostrato che i graniti si accordano sostanzialmente anche colle lave odierne. Le differenze che noi rimarchiamo credo siano tutte espresse nei seguenti numeri.

1.° Le lave sono sovente bollose, scoriacee, ripiene cioè di cavità subsferiche o subelittiche, che accennano la dilatazione dei vapori entro una massa plastica, vischiosa. Non si conoscono graniti bollosi, scoriacei.

2.° Le lave sono quasi invariabilmente associate e alternanti con tufi, o letti di scorie, di lapilli, di sabbie, di ceneri vulcaniche, identici per composizione alle lave, di cui non sono che parti smembrate. Non si scopersero mai nè scorie, nè lapilli, nè sabbie, nè ceneri, nè tufi granitici.

3.° Le lave sono frequentemente amigdaloidi, mostrano cioè le loro cellule, le loro bolle riempite di silicati idrati, cioè di zeoliti, di calcedonia, di sostanze concrezionari diverse. I graniti non sono mai amigdaloidi.

4.° Le lave si mostrano spesso in forma di correnti, dipendenti da un orifizio vulcanico o da un cratere che termina in cono; entrano cioè a far parte di un apparato vulcanico complesso. Non corrente, non cratere, non cono, infine nessun apparato vulcanico nelle formazioni granitiche.

87. Quest' ultima differenza, la quale in fine le compendia tutte, parmi sia quella che ci metta sulle tracce di quel vero, che tutte le spiega. Osservo infatti come tutti i caratteri differenziali che distinguerebbero le lave dai graniti sono positivi per le prime, negativi pei secondi. Voglio dire che i graniti si distinguono dalle lave non per qualche cosa che hanno di più, ma per ciò che hanno di meno. Ma ciò che hanno di meno i graniti non è cosa che appartenga veramente alle lave, le quali sono in tutto e per tutto simili ai graniti, ma riguarda unicamente alcune parti di esse, cioè, per esempio, la superficie che è bollosa o amigdaloide in confronto del mezzo che è compatto, o riguarda semplicemente la loro associazione o la loro forma esterna: riguarda infine, diciamolo, il loro modo di presentarsi, come parte di un apparato vulcanico subaereo, quale ce lo presentano tutti i vulcani attuali, accessibili alle nostre osservazioni. Allora io mi domando: se distruggendo, o rendendo impossibile, questo apparato subaereo, io avrò distrutto o reso impossibile il vulcano. Mi domando finalmente: se, reso impossibile l'apparato subaereo, ma conservato il vulcano, troverò ancora quelle differenze per cui le lave si distinguono dai graniti.

88. Pigliando ora in un fascio tutte le rocce cristalline, osservo, che i caratteri tanto negativi come positivi per cui si distinsero le rocce *vulcaniche* dalle *plutoniche* si determinano e si accentano tanto più, quanto più ci accostiamo alla forma orografica e geologica dei vulcani subaerei per le une, e quanto più ce ne scostiamo per le altre. Se poi mi schiero dinanzi tutte le formazioni cristalline, tanto le *vul-*

Digitized by Google

caniche quanto le *plutoniche* nel senso dei geologi, trovo che le caratteristiche dell'una e dell'altra serie presentano indefinite transizioni, per cui insensibilmente passo dalla lava moderna al granito, e trovo in pari tempo (si rimarchi bene questo punto) che, col succedersi di quelle transizioni, di quelle sfumature, per cui, partendo dalle lave recenti, arrivo al granito, ha luogo in pari tempo il distruggersi, e quasi lo sfumare, del pari graduato, dell'apparato vulcanico. Prego il lettore a seguirmi sul campo pratico, ove spero si farà luce su quanto havvi a prima vista di oscuro.

89. Come si presenta un vulcano? Il suo tipo più semplice è quello di un cono, tronco, e svasato alla sommità da un cratere. Talora son due, sono più coni gemelli, o concentrici; talora si aggiunge un recinto; ma sempre e poi sempre la montagna vulcanica non è che un cumulo di materie solide eruttate dal seno della terra, e accumulate attorno all'orifizio di eruzione. L'argomento fu già del resto ampiamente trattato (*Parte prima*, XXVIII). Abbiamo anche veduto in che modo cresce il vulcano, in che modo cioè si dispongono i prodotti delle eruzioni, mano mano che avvengono, e ci siam quindi formato un concetto della struttura di un cono vulcanico, cioè del modo di associazione dei diversi prodotti eruttivi nella formazione di un tutto, che noi chiameremo *apparato vulcanico*. Questo apparato vulcanico risulterà della justaposizione e sovrapposizione e alternanza di tutti i prodotti eruttivi, ciascuno nelle sue diverse forme. Per sapere quali siano quéste forme, quali le loro varietà, quale la loro disposizione, non avremmo che a trasportare qui il § 861 della *Parte prima*. Saranno lave talora compatte, talora cellulose, bollose, scoriacee, suscettive di trasformarsi poscia in lave amigdaloidi, pel riempimento delle rispettive cellule, o bollosità. Esse lave avranno ora la forma di semplici espandimenti, ora quella di correnti, ora quella del dicco. Alle lave si associano, e colle lave alternano, gli strati incoerenti di pietre vulcaniche, di scorie, di lapilli, di sabbie, di ceneri. Soventi volte alle lave e ai tufi si uniranno i fanghi vulcanici, prodotti o da immediate eruzioni dei crateri, o dalle piogge e dai torrenti d'origine vulcanica. Ove il vulcano sia in immediato rapporto col mare, come vulcano littorale o insulare, compiranno l'apparato vulcanico le lave e i detriti, o rosi, o rimestati dall'azione del mare, trasformati in strati vulcanico-marini, alternati, se fa uopo, con strati di pretta indole sedimentare.

90. È questo l'*apparato* che, più o meno completo, con varianti più o meno indifferenti, presentano tutti i vulcani della terra, che disegnano il perimetro di tutti i continenti, ed è questo l'apparato per cui si poterono contare tante centinaja di vulcani, benchè la storia non ne ricordi nessuna eruzione, benchè ogni attività vulcanica vi sia spenta. Come si dicono vulcani il Vesuvio e l'Etna, così, senza nessuna restrizione, si dicono vulcani i coni aggruppati de'Campi Flegrei, i Colli Laziali, i Colli Cimini, i conici rilievi che cingono i laghi di Bracciano e di Bolsena, i cento coni allineati della Francia centrale, i laghi craterici dell'Eifel, e i mille coni, spenti da secoli, che circondano il Caspio, o sono sparsi in tutte le regioni continentali e insulari del globo. Noi ci riserviamo di descrivere brevemente più tardi i principali gruppi di vulcani spenti, che sono già del dominio della geologia. Qui ci basta di poter dire, che quei vulcani si dissero vulcani appunto perchè, se mai non fur visti crompere, presentano però un completo apparato vulcanico: un cono, un cratere, lave compatte o scoriacee, o amigdaloidi, correnti o dicchi, scorie e tufi, e, a volte a volte, fanghi vulcanici e strati commisti di conchiglie e di detriti marini.

Digitized by Google

91. Esistono però certi distretti ove si rivelano tali indizi di vulcanicità, che di commune consenso i geologi li chiamano *distretti vulcanici*. Ma l'apparato vulcanico manca, o, per meglio dire, manca di ciò che lo rivela anche all'occhio meno esercitato. È la cosa più acconsentita dai geologi, che si considerino come gruppi vulcanici i rilievi che fiancheggiano l'Elba nei dintorni di Aussig, sui confini della Boemia, e le *Sette Montagne* che costituiscono l'interessantissimo gruppo di Siebengebirge sulla destra del Reno, non lontano da Bonn, e molti altri consimili gruppi di montagne trachitiche o basaltiche, noti in tutte le parti del globo. Ma invano nei dintorni di Aussig, invano nel Siebengebirge, si cercherebbe un cono, si cercherebbe un cratere, si cercherebbe infine la forma complessiva ordinaria di un apparato vulcanico. Ma il geologo si avvede ben tosto che l'*apparato vulcanico* esiste, e solo è modificato nella sua forma complessiva. Quei basalti, quelle trachiti sono lave compatte, talora bollose, o almeno amigdaloidi. Sono quegli stessi basalti, quelle stesse trachiti che altrove, per esempio nei Campi Flegrei, nei vulcani della Romagna e dell'Alvernia, si presentano sotto forme di correnti, dipendenti da un cratere, facenti parte di un perfetto apparato vulcanico. Nel Siebengebirge e in Boemia si presentano invece sotto forma di irte rupi, inaccesse, che, ben esplorate, si rivelano come dicchi i quali si apersero la via, o attraverso i terreni sedimentari, o attraverso i tufi d'indole tutta vulcanica. L'erosione del terreno detritico, in cui erano incassati, li mise a nudo, così che figura un dirupo sporgente, dove prima era un filone sepolto. I dicchi basaltici di Aussig si vedono anche benissimo guadagnare l'antica superficie del suolo e distendersi, sotto forma di corrente orizzontale, ossia di espandimento, e formare un robusto tetto a quegli stessi tufi, cui hanno attraversato per venire alla luce. Quei dicchi hanno, come le lave, modificato le rocce a contatto, combusto la lignite. Quei tufi poi sono veri tufi vulcanici, disposti a strati, per nulla dissimili a quelli che pigliano una parte così imponente nella compagine dei vulcani di Roma e di Napoli. Infine che altro manca a quelli, e a mille altri simili vulcani, se non, ripeto, la forma complessiva esterna? Ma quei vulcani, in confronto dei nostri vulcani ordinari, presentano altre differenze molto accidentali, che tuttavia hanno la loro importanza, principalmente perchè esse differenze pajono determinarsi ovunque venga a far difetto la forma complessiva esteriore dell'apparato vulcanico. Osservando i distretti vulcanici di Aussig e del Siebengebirge, non che i moltissimi che presentano gli stessi caratteri, si può dire che, in confronto colle montagne vulcaniche perfette, le lave sono in genere più compatte, più di rado bollose, scoriacee o amigdaloidi.

I tufi, cioè la parte d'indole detritica vi esiste, in genere, in proporzioni comparativamente minori. Nel Siebengebirge, per esempio, le lave, cioè le trachiti e i basalti, figurano come principale, e i tufi come accessorio; mentre nei vulcani romani e napoletani, e in genere nei vulcani a cono craterico, l'accessorio è rappresentato dalle lave; il principale da detriti tufici. Notiamo anche che le lave bollose, scoriacee, a cellule vuote, degli attivi o dei recenti vulcani, sono in genere sostituite da lave a cellule riempite, ossia da lave amigdaloidi. Della trasformazione delle lave bollose, scoriacee, in lave amigdaloidi discorreremo poi come di un processo importantissimo di metamorfismo. Per ora ho bisogno che si ammetta, sulla fede dei geologi più distinti, che gli amigdali non sono che riempimenti di cavità per infiltrazione di una soluzione acquosa, ordinariamente di silicati zeolitici, e si possano quindi considerare come fra loro equivalenti le lave scoriacee o semplicemente bollose, e le lave amigdaloidi. Però il riempimento di quelle cavità è un fatto a sè, la cui

Digitized by Google

frequenza caratterizza appunto quelle lave, che si presentano senza il concorso del completo apparato vulcanico. Infatti si nota nelle rocce trappiche il difetto di varietà che rispondano, per la struttura porosa, cellulare, alle lave scoriacee attuali. Ma Lyell osserva molto bene come le rocce amigdaloidi non rappresentano che lave scoriacee, ove le cavità furono dappoi riempite da un minerale qualunque.

92. Ripigliando, abbiamo veduto come da molti vulcani, anzi da interi distretti vulcanici, scompare la forma complessiva, ordinaria, dell'*apparato vulcanico*; esso però si conserva, con alcune modificazioni, nelle sue parti più essenziali. Non coni, non cratere; ma le lave sono ancor quelle, o compatte o bollose, o in dicchi o in espandimenti, e sono associate a' detriti, che hanno tutti i caratteri di tufi vulcanici.

Ma spingiamoci più in là. Esistono dei distretti assai distinti dall'abbondanza di rocce, nelle quali i geologi ravvisano i caratteri delle rocce eruttive, ossia delle lave. Ma gli stessi geologi non osano, od osano appena qualificarli come *distretti vulcanici*. L'apparato vulcanico esterno è interamente scomparso. Le lave, o compatte, o bollose, si trovano ancora associate a masse di detrito vulcanico, a letti di lapilli e di ceneri, a tufi vulcanici, ecc. Ma quelle rocce vulcaniche non costituiscono più nemmeno un tutto a sè: esse si isolano, per dir così, in mezzo a terreni di pretta origine sedimentare, in dicchi, in singoli espandimenti, in letti interstratificati alle formazioni di sedimento; e quei sedimenti sono, forse senza una eccezione, sedimenti marini.

93. Uno dei distretti più classici come distretto eruttivo dove le forme esterne dei vulcani interamente scompajono, e tuttavia l'azione dei vulcani si manifesta in tutta evidenza, e nel modo più imponente, è certo il distretto, che comprende le coste e le isole occidentali della Scozia; quelle isole, in cui si comprende la piccola, ma celeberrima Staffa, quelle isole ove, i più eminenti geologi accorsero a ricevere per dir così, il loro geologico diploma. Gli Iperstenì, i basalti, i trapp, i greenstones, i porfidi, le retiniti, infine le rocce più indubbiamente vulcaniche, ci appajono su mille punti, occupano grandi estensioni, si presentano sotto forme diverse. Ma invano si cercherebbe un solo cono, un solo cratere, qualche cosa che faccia dire: ecco un vulcano! Quelle rocce si presentano invece sotto la forma, a noi ben nota, del dicco, e di questi dicchi ve n'ha un numero infinito; ma gli stessi dicchi, in luogo di far parte dell'ossatura di un cono vulcanico, come nell'Etna, nel Somma, nell'Isola Borbone, in tutti i vulcani del mondo, si tengono isolati, e traforano le formazioni sedimentari. Le rocce vulcaniche si presentano anche in forma di correnti, o piuttosto di larghi espandimenti, che in molti casi si vedono, come le correnti di lava nei veri vulcani, originati da un dicco, il quale rappresenta l'emuntorio, per cui la lava si espanse. Tali espandimenti coprono, a guisa di enorme tettoja d'un sol getto di pietra, i sottoposti terreni sedimentari. Ma (spettacolo nuovo per noi) quelle rocce certamente vulcaniche, certamente lave, o lapilli, o ceneri, hanno presa la forma di strati sedimentari, e quasi fossero banchi di calcare o di arenaria, alternano, talora con regolarità sorprendente, colle arenarie, e coi calcari. Le rocce vulcaniche presentano la forma di masse interstratificate.

94. È, dissi, uno spettacolo nuovo per noi. Noi infatti siamo avvezzi a mirare i vulcani formare dei sistemi isolati dalle formazioni sedimentari. Qualche masso di calcare o d'argilla nel Somma, qualche lembo di fondo marino sollevato sui fianchi dell'Epomeo, dell'Etna, delle Canarie, non disturbavano per nulla quell'edificio così caratteristico, che ogni vulcano si erige. Talora sono evidentissimi i rapporti

Digitized by Google

tra l'edificio vulcanico, e i terreni di sedimento: ma è il vulcano, che, erompendo dalle viscere dei sedimenti, sovr'essi distende le sue correnti, diluvia i suoi lapilli, e le sue ceneri, e si edifica un cono che dilata le sue basi sui terreni preesistenti. Il cono immenso e multiplo del lago di Bolsena, copre, a guisa di mantello, colle immense falde, le argille subappennine, come i vulcani dell' Eifel ricoprono i terreni devoniani. I vulcani e i terreni sedimentari formano due sistemi indipendenti, segnano due epoche diversissime d'azione. Qui invece, cioè nelle isole occidentali della Scozia e in cento luoghi altrove, la vita vulcanica è associata, per dir così, alla vita sedimentare: le correnti si alternano cogli strati, e ne risulta un apparato misto, in cui si traduce la singolare associazione di elementi così diversi, così opposti l'uno all' altro. Ma in questo apparato misto si distingue ancora assai bene ciò che si deve ai vulcani; anzi gli elementi essenziali dell'apparato vulcanico esistono ancora, sono ancora quelli di cui risultano le montagne vulcaniche... dicchi, correnti, cumuli di detrito vulcanico.

95. L'atlante geologico di La Bêche (*Coupes et vues*, etc.) porge un buon numero di esempî di questa associazione delle rocce eruttive colle sedimentari nelle Isole Britanniche; ma studî più recenti hanno gettato una gran luce sopra fenomeni, i quali non vennero sempre nè ben intesi, nè ben interpretati. Preziosissima è sotto questo rapporto la Memoria di Ar. Geikie sopra la cronologia delle rocce trappiche in Scozia (*Transact. of the R. Soc. of Edinburgh*, vol. XXIV, 1867).

L'illustre geologo riuscì, come meglio vedremo più tardi, a determinare la serie dei prodotti vulcanici, che, quasi senza interruzione, continua dall'epoca siluriana alla terziaria. Quelle rocce vulcaniche, che vanno ancora generalmente confuse sotto il nome generico di *trapp*, furono da lui divise in quattro classi, che figurano nel seguente specchio, ed offrono quanto possono offrire i vulcani, prescindendo dall'apparato vulcanico esterno:

1.° Ceneri feldspatiche, che si presentano come arenarie o schisti cinerei;
2.° Rocce feldspatiche interstratificate;
3.° Rocce feldspatiche intrusive, ossia in dicchi.
4.° *Greenstones* (roccie dioritiche) e basalti interstratificati o intrusivi.

Se quelle lave sono ordinariamente compatte, non mancano però talora di essere bollose e scoriacee. Infatti l'autore afferma che i letti di feldspato eruttivi (*felstoe*) dei periodi siluriano e devoniano della Scozia, sono ordinariamente vessiculari, porosi alla superficie, e talora fortemente amigdaloidi.

Quanto alla associazione delle rocce eruttive colle sedimentari, ella è espressa mirablimente nei due diagrammi, che io credei così istruttivi, da non potermi dispensare dal riprodurli dalla memoria citata.

96. Il primo diagramma presenta una sezione dell'Isola di Skie. Quest'isola, e in genere le Ebridi interne, constano di gruppi trappici, in corrispondenza coi terreni

Fig. 2. Sezione dell' Isola di Skye.
g. Greenstone e basalte. — o. Calcari e schisti dell'oolite, con strati di carbone.

dell'epoca giurese, dal *lias* fino all'*oxfordiano*. Le rocce vulcaniche vi appajono talora in dicchi, probabilmente posteriori all'oxfordiano, ma per lo più in strati sedimentari. Questa grande formazione basaltica delle Ebridi, che si stende dall'Atlantico allo stretto di Raasay, fu descritta da Forbes, e considerata come un solo gruppo basaltico. Geikie invece potè verificare che i trapp (*greenstone* e *basalti*) alternano continuamente con strati marini, o d'estuario, di calcare, di schisti, di carbone, e tutto appartiene all'epoca oolitica. L'Isola di Skie ne è uno splendido saggio.

97. Il secondo diagramma è ancor più istruttivo. Esso presenta, in una sezione presa tra Bathgate e Borrowstonness, un saggio del modo singolare di associazione tra le roccie vulcaniche (*greenstone* e *basalti*) e gli strati della formazione carbonifera nella Scozia meridionale. Qui anzitutto le roccie vulcaniche si presentano sotto la duplice forma, di correnti o di espandimenti, e di letti detritici. I letti di lava,

Fig. 3. Sezione tra Bathgat e Borrowstonness.

c. Arenarie e schisti carboniferi, carbon fossile e letti ferriferi. — *g.* Greenstone e basalte. — *l.* Calcare carbonifero. — *a.* Letti di ceneri stratificate.

come i letti di cenere, alternano con strati di pretta origine sedimentare. Ma l'indole detritica dei sedimenti carboniferi, e i letti di carbon fossile, indicano piuttosto littorali e estuarî, che mari liberi e profondi. Notisi di più quella irregolarità, quell'incertezza di confini, e quel complesso di accidenti, per cui la sezione offerta risponde così per bene all'ideale di un basso fondo marino, di un littorale, di una maremma, soggotta a oscillazioni che ne rimutano le condizioni, ove il processo della sedimentazione, già mutabile per sè, è ad ogni tratto interrotto da una corrente di lava che si espande, da un diluvio di ceneri, di sabbie, di lapilli, che si depone. C'è egli bisogno qui di apparato vulcanico, per persuaderci che qui agivano dei vulcani, e che quelle rocce sono vulcaniche?

98. I Colli Euganei, i Monti Berici, e tutti i distretti basaltici, trachitici, porfirici del Vicentino e del Tirolo offriranno forse particolarità ancor più interessanti, quando se ne ripigli lo studio, con quell'amore e quella oculatezza, con cui al principio del secolo venivano studiati dal Fortis; ma con quei lumi, che la moderna scienza può prestare all'occhio dell'osservatore. Anche là le rocce vulcaniche, e i terreni sedimentari, ricchi di stupende flore terrestri e di splendide faune marine, formano un indissolubile complesso. I basalti o le trachiti alternano colle calcaree rigurgitanti di corpi marini. Anche là nessun indizio di apparato vulcanico; non un cono, non un cratere.

Ma gli elementi dell'apparato vulcanico ci si mostrano, si può dire, in tutte le più minute particolarità. Alle lave compatte, cioè a quei basalti e quelle trachiti, che si presentano in multiformi espandimenti, si associano letti detritici d'ogni

Digitized by Google

forma; tufi, brecce e brecciuolo, o conglomerati. Una singolarità interessantissima, non commune negli antichi distretti vulcanici, che vi si ammira sono i letti di detriti vulcanici, popolati d'animali marini. Non altro che detriti vulcanici pajono le brecciuole di Roncà, formanti veri impasti di conchiglie marine. Un poderoso letto di grossolano conglomerato basaltico vidi nel torrente sotto Salcedo, seminato di conchiglie marine, e principalmente di ostriche, che si mostrano ancora aderenti ai pezzi di basalte. La natura di questi ammassi, come l'estrema abbondanza delle conchiglie nei letti calcarei e arenacei, e in modo specialissimo le ricche flore terrestri, le palme ancor radicate, di cui si conservano così meravigliosi saggi nella collezione del conte Piovene, tutto infine accusa mari pochi profondi, anzi veri littorali. Con questo fatto concorda assai bene l'altro, che le lave di quelle località, nominatamente i basalti del Vicentino, si mostrano spesso bollosi, scoriacei, e divengono quindi frequentemente amigdaloidi. Tale carattere presentano appunto i massi basaltici in vicinanza di Salcedo, sicchè talora si piglierebbero per vere lave scoriacee, a cavità bollose, talora vuote, talora riempite di forme zeolitiche. Questo carattere della bollosità, o il suo equivalente della struttura amigdaloidale, si potrebbe dire un vero distintivo di quelle masse vulcaniche. Fortis lo fa singolarmente risaltare in più luoghi. Le celebri *enidri* o *achatenhydres* di Fortis, globuli di quarzo o di calcedonia, occupati nel mezzo da acqua, non sono che una specie di amigdali, che si estraggono dalle lave, nelle cui rotonde cavità si sono formate: ma oltre ad esse il Fortis parla di amigdali d'ogni specie. La lava, ossia il basalte, del Monterotondo sul fianco del Monte Berico, è scoriacea, e le cellule contengono o le *enidri*, o geodi di calcedonia, o amigdali di spato calcareo, o terra ferruginosa. Zeppe di enidri, e di amigdali di quarzo o di calcedonia, con zeoliti o spato calcareo, sono pure le lave del Main nel distretto d'Arzignano. Ricchissimi sono poi di amigdali i basalti di Montecchio Precalcino, dove, dice Fortis, nello stesso spicchio di basalte, di cui si presentano molto varietà bollose, voi scoprite, entro le cellule, e incrostazioni di ossido di ferro, e concrezioni di zeoliti azzurre, e globuli tondi e solidi di calcedonia, e geodi terrose, e così via via (*Mémoires pour servir à l'histoire naturelle*, ecc. Tom. I).

99. I distretti citati ci presentano adunque un'associazione intima tra le formazioni vulcaniche e i terreni sedimentari. Benchè non vi sia nessuna traccia di un vero apparato vulcanico, e le lave e i detriti appajano come isolati ed indipendenti fra loro; tuttavia, condensati in certi particolari distretti, si conoscono colligati da rapporti d'origine molto stretti, e rappresentano, dirò, i materiali di un vero apparato vulcanico, in tutti i suoi particolari, che se non potè erigersi, lo si deve a quelle condizioni, che produssero quell'intima associazione di terreni d'origine così diversa.

100. Ma possiamo recarci in altri distretti, ove l'apparato vulcanico è ancor più ridotto, immiserito. Molti distretti porfirici, e precisamente quelli delle nostre Prealpi, sono in questa condizione. Diversi distretti porfirici e melafirici della Germania, presentano almeno, ancora sovente, il carattere bolloso, scoriaceo delle lave, le quali, converse in amigdaloidi, costituiscono i celebri *Mandelstein*, di cui diremo a suo tempo di più. Ma i porfidi delle nostre Prealpi non presentano più nemmeno, salvo eccezioni, nè bollosità, nè amigdali, nè tufi, nè detriti di sorta. Sono rocce, associate come i basalti, come i trapp, precedentemente descritti, ai terreni sedimentari, talora in piccole, talora in enormi masse, che qui hanno i caratteri di un dicco, là l'apparenza di uno strato: rocce granulose, cristalline, compatte, e non altro. Osservate il bacino di Leffe, ove così vari ed abbondanti emergono i porfidi anfibolici,

Digitized by Google

di mezzo alle calcaree. Nulla vi si presenta per cui, salvo la composizione mineralogica, li distinguiate dai graniti. Che vi rimane qui dell'apparato vulcanico? Vi rimane il più, io rispondo. Quei porfidi sono lave. Come lave li rivelano indubbiamente e la struttura cristallina della roccia e la forma distintissima del dicco, e l'interclusione dei frantumi della roccia incassante, e il *metamorfismo di contatto*, ossia la conversione del calcare compatto in saccaroide. I geologi del resto, anche quelli che fanno delle eccezioni per le rocce granitiche, sono d'accordo nell'ammettere l'origine vulcanica dei porfidi e dei melafiri, alcuni dei quali non si saprebbe come distinguerli dalle lave più recenti.

101. Uno dei distretti porfirici più grandiosi è quello certamente dei dintorni del lago di Lugano, campo di studî e di battaglie geologiche già da un mezzo secolo. Non era nemmeno ben deciso dapprincipio se lo si dovesse collocare tra i distretti granitici piuttosto che tra i distretti porfirici. E invero la roccia dominante è piuttosto un granito che un porfido, risultando da una miscela di feldspato roseo e di quarzo. Alcuni pezzi non si saprebbero troppo ben distinguere dal granito rosso del vicino Baveno. In ultima analisi però trattasi di una massa ingente di *porfido quarzifero* per eccellenza, associata ad altre masse di porfidi diversi, neri, bruni, verdi, non quarziferi, costituente un vero distretto porfirico, risultato di mille eruzioni. Qui l'apparato vulcanico è ridotto ai minimi termini; cioè all'esistenza di masse che hanno la struttura e l'indole delle lave, con interclusioni di frammenti di altre rocce, ed ai giacimenti in forma di dicco. Saremmo infine già ridotti ai caratteri che presentano i graniti e le rocce granitiche. Per buona sorte però si presentano ancora qua e là dei conglomerati brecciosi, che hanno l'aria di tufi vulcanici. Ciò si osserva, per esempio, in vicinanza di Gana. Vi hanno poi, in un angolo riposto di quel distretto, i più sicuri documenti dell'origine eruttiva di tutta quella formazione porfirica. Sono le vicinanze di Fabbiasco, dove, anzi tutto, abbondano i veri tufi porfirici. Hanno infatti tutta l'apparenza di una roccia cristallina detritica, precisamente di un tufo, ove si distinguono benissimo i lapilli di *porfido nero* da quelli di *porfido rosso* in un impasto quasi di cenere, seminato di cristalli logori e frantumati, fra cui si distingue il quarzo. De Buch separa infatti i tufi dai porfidi di quel distretto. Nella stessa località appajono poi dei porfidi bollosi, dei porfidi amigdaloidi, e strati di cenere porfirica, e porfidi fusi, cioè retiniti, e infine tutti gli accidenti, per cui i distretti basaltici o trappici furono e sono ritenuti distretti vulcanici.

102. Ma siamo finalmente ai distretti granitici. L'apparato vulcanico ci si è andato mano mano sfacendo. Il cono craterico, la vera montagna vulcanica, ci scomparve tosto, appena ci staccammo dai distretti ardenti, o che arsero jeri. Ci rimanevano però ancora associati tutti gli elementi, di cui la montagna vulcanica suole comporsi: i gruppi basaltici o trachitici dell'Elba o del Reno, dalla forma del cono vulcanico in fuori, non lasciavano nulla a desiderare per esser detti con tutta sicurezza vulcani e gruppi vulcanici. Ma anche questo complesso è rotto, sturbato nei distretti basaltici o trappici del Vicentino e delle Ebridi: l'associazione intima e costante delle rocce vulcaniche colle sedimentari, crea quella che si direbbe una nuova forma. Ma gli elementi vulcanici esistono ancora tutti: le lave compatte e bollose, le ceneri, i lapilli, i tufi, figurano soltanto scomposti, e le lave hanno già un gran predominio sui detriti. Con certi distretti porfirici, l'apparato vulcanico è estremamente ridotto; le lave bollose, le ceneri, i tufi figurano come un'eccezione, a fronte delle ingenti masse di lave compatte. Coi graniti l'apparato vulcanico scompare. Non più nè cono, nè cratere; non più ceneri, lapilli, tufi; non più nemmeno lave bollose o amigdaloidi: il tutto si riduce ad una roccia cristallina, ad un impasto di cristalli.

Digitized by Google

103. Ho detto: scompare l'apparato vulcanico; ma meglio avrei detto: scompare quanto in esso appunto havvi puramente d'accidentalo; ciò che, per essere prodotto, ha bisogno di circostanze particolari; poichè, essenzialmente, l'aziono vulcanica sta nella formazione delle lave, e *un vulcano* (ripeto la descrizione che ne ho dato) *è una cavità che mette in communicazione l'interno coll'esterno del globo, resa manifesta dalla emissione di sostanze solide* (*Parte prima* § 792). Sostanzialmente il vulcano, ossia l'apparato vulcanico, resta ancora. A questo estremo punto della sua riduzione, noi lo chiameremmo *apparato granitico*.

104. Anche il granito è un impasto di cristalli, come le lave e i trapp; anche il granito si presenta in dicchi; anche il granito forma degli espandimenti e delle interstratificazioni; anche il granito ha metamorfizzato le rocce a contatto; anche il granito interclude frammenti di rocce straniere; anche il granito, in conclusione, si comporta come le dioriti, come i trapp, a cui molte volte si associa in identiche condizioni di giacitura, come quando si interstratifica, unitamente ai trapp, negli strati dell'Uroniano d'America, e sembra isolarsi in colossi massicci colle dioriti, o coi serpentini delle Alpi.

Se per negare al granito il nome di roccia vulcanica basta il difetto della bollosità, delle ceneri, dei lapilli, dei tufi, neghiamolo del pari alle dioriti, ai trapp, ai basalti, alle trachiti, ogni qualvolta si presentano isolati in masse compatte; riferiamolo unicamente alle lave degli odierni vulcani; facciamo della *dinamica terrestre* non della *geologia*. In luogo dunque di distinguere ciò che non può distinguersi, di negare l'origine vulcanica a rocce che hanno per sè tutti i caratteri delle rocce vulcaniche; studiamo piuttosto di intendere il perchè, per così graduate transizioni, si passa dalla forma delle attuali montagne vulcaniche, a quella delle antichissime masse granitiche.

Digitized by Google

V. Le rocce cristalline rappresentano la serie delle transizioni tra i vulcani subaerei e i vulcani sottomarini.

Fenomeni dei vulcani, 105. — *Origine del cono*, 106. — *Caratteri delle lave subaeree*, 107. — *I fenomeni vulcanici come fenomeni condizionati*, 108. — *Vulcani littorali*, 109. — *Origine subaerea di letti vulcanici*, 110. — *Letti vulcanici detritici nel Vicentino*, 111. — *Vulcani carboniferi della Scozia*, 112. — *Gran zona vulcanica*, 113. — *Foreste fossili coperte di ceneri*, 114. — *Alternanza di strati vulcanici con foreste e strati marini nel golfo di Forth*, 115. — *Una bomba sul fondo del mare carbonifero*, 116. — *Vulcani insulari*, 117. — *Distruzione dell'apparato vulcanico*, 118. — *Denudamento delle masse di lava per demolizione del cono*, 119. — *Demolizione totale*, 120. — *Brecce e conglomerati porfirici*, 121. — *Breccia nel porfido antico*, 122. — *Trasformazione dei prodotti della demolizione in strati sedimentari*, 123. — *Vulcani sottomarini*, 124. — *Tutto è ridotto all'emissione delle lave*, 125. — *Possibilità di un detrito conseguente per azione delle onde*, 126. — *Le lave sottomarine a preferenza amigdaloidi*, 127. — *L'apparato vulcanico ridotto a sole lave compatte*, 128. — *Le nostre deduzioni non sono ipotetiche*, 129. — *Una eruzione sottomarina nelle Azore*, 130. — *Riflessi su quella eruzione*, 131. — *Applicazione alla teorica esposta*, 132. — *La rappresentanza di un vulcano alla massima semplicità*, 133.

105. Le ragioni delle transizioni accidentali tra le lave attuali e i graniti, cioè tra i due estremi che, accostati, giustificano, in apparenza, la distinzione stabilita dai geologi tra rocce *vulcaniche* e rocce *plutoniche*, si trovano in alcuni punti della dinamica terrestre, che furono poco studiati, e meno apprezzati. Il segreto sta nel confronto tra i vulcani *subaerei* e i vulcani *sottomarini*.

Quando si parla di vulcani, si intendono sempre i vulcani, quali si presentano ovunque, o sui lembi continentali, o sulle isole. Ma si dovrebbe riflettere che tali vulcani non sono già più vulcani in genere, ma sono specificati, hanno già un modo parziale di essere, di presentarsi, e quindi di agire. Infine sono *vulcani subae-*

rei; e questo predicato non è certo necessario alla loro esistenza; tanto è vero che noi ammettiamo, anzi conosciamo dei *vulcani sottomarini*, o dei vulcani, i quali, come l'isola Giulia, erano sottomarini, prima di diventare subaerei, e ritornarono sottomarini dopo di essere stati subaerei. Ma se l'essere subaereo non è condizione necessaria all'esistenza del vulcano; lo è invece alla produzione di una quantità di fenomeni, i quali non si possono verificare appunto, se non in quanto è subaereo il vulcano. E quali sono questi fenomeni? Sono quelli operati dal vapore acqueo, primario agente delle eruzioni vulcaniche, quando egli sia libero di svolgersi a cielo aperto; quando cioè, alla enorme tensione, prodotta a una temperatura d'incandescenza, non si oppone che la debole resistenza dell'atmosfera. Il vapore acqueo, svolgendosi dalle lave ribollenti coll'impeto di una esplosione, seco trascina, e gli strappi di lava fervente, e i brani della montagna, e gli uni e gli altri, con foga indescrivibile, trattenendo in vorticosa danza, frantuma, stritola, macina; talchè all'ingiro di quella macchina spaventosa grandinano le pietre e le bombe, diluviano i lapilli, le sabbie e le ceneri, fino a distanze incredibili dal centro eruttivo. Il Conseguina in una sola eruzione, nel 1835, dilatava i suoi detriti fino a distanza di oltre 1000 chilometri: sul raggio di 40 chilometri dal cratere, il detrito aveva lo spessore di 10 piedi almeno.

106. È questo detrito multiforme, da noi già minutamente descritto (*Parte prima*, § 820), che ricade all'ingiro del cratere; e disponendosi in quella stessa guisa, in cui si disporrebbe qualunque massa incoerente, rigettata a riprese da un orifizio centrale, vaneggia in forma di cratere, tenuto aperto, finchè l'impeto ascendente dei vapori si spazza la via (*Parte prima*, § 847-849). Le lave sgorgano più tardi: il loro effondersi, o dal cratere, o, più sovente, dal fianco squarciato del cono vulcanico, è quasi un puro fenomeno di drenaggio. In molte eruzioni, per esempio in quelle de' vulcani d'America, le lave non si presentano nemmeno: talora invece un solo vulcano, come lo Skaptar Jokul d'Islanda, è capace di buttar fuori, per dir così, liquefatto il Monte Bianco (*Parte prima*, § 823).

107. In media, si può asserire, che le lave non rappresentano che una minoranza, e figurano quasi come un accessorio nei prodotti dei vulcani subaerei. Le stesse lave poi, sgorgando sotto la libera atmosfera, subiscono delle importanti modificazioni, fra le quali principalissima la scorificazione. I vapori, non equilibrati per nulla dalla sola pressione atmosferica, si dilatano in seno alle lave: ogni atomo di lava è una caldaja che scoppia, od una vescica che si rigonfia: la parte superficiale tutta si rigonfia e bolle e, raffreddata in leggerissime scorie, galleggia, e si ammucchia sulla corrente (*Parte prima*, § 821). Ma non tutto il vapore si svolge: o non vincendo la pressione stessa della lava negli strati più profondi, o compresso dal consolidamento della lava stessa negli strati superiori, incapacitato a vincere l'ostacolo, è trattenuto prigione entro la lava. Se gli è impedito di svolgersi, non è però detto che gli sia tolta la facoltà di dilatarsi, finchè si trovi equilibrato dalla resistenza della lava e dell'atmosfera sovrincombente. Ne risultano quindi quelle correnti di lava, scoriacee superiormente, più o meno bollose nell'interno, porose o più o meno compatte nelle parti inferiori.

108. Si rifletta ora ben bene. Tutti i fenomeni fin qui accennati, e minutamente già descritti a loro luogo, da che dipendono?.... Da una sola circostanza: e questa accidentale.... Dipendono dall'essere i vulcani subaerei. Toglieto questa condizione ai vulcani, e mi avrete annullati le pietre, le bombe, i lapilli, le sabbie, le ceneri: avrete distratto il cono craterico, cioè la montagna vulcanica. Che vi resterà dunque? Vi resteranno le lave, e queste non scoriacee, non bollose, perfettamente compatte.

Digitized by Google

Ora si domanda: questa condizione della subaereità dei vulcani, è ella necessaria all' esistenza dei vulcani stessi? Non si possono verificare tali circostanze, in cui un vulcano erompa in tali condizioni, che lo sprigionamento, o la dilatazione dei vapori, siano impediti? Noi abbiamo già risposto a queste domande, consacrando un intero capitolo alla discussione sull' esistenza dei vulcani sottomarini, e sui fenomeni che furono verificati di fatto, o che devono neccessariamente verificarsi, nelle eruzioni sottomarine (*Parte prima*, XXIX). Ma l' argomento è troppo fondamentale per l' *endografia*, perchè possiamo dispensarci dal ripetere assai di quanto abbiam detto, deducendo dal confronto colle formazioni vulcaniche attuali, insulari o sottomarine, la spiegazione delle diverse forme dei prodotti vulcanici antichi. Io credo che nessun punto ci rimarrà inesplicato, ricorrendo all' artifizio ipotetico, ma letteralmente conforme ai fatti che si verificano pei diversi vulcani attuali, di far passare gradatamente un vulcano dall' interno di un continente alle maggiori profondità del mare.

109. Appena il nostro vulcano subaereo, intercontinentale, sia giunto sul lido del mare (e in tali condizioni si trovano il Vesuvio, e l' Etna, e il maggior numero dei vulcani attuali), già si verificano dei fenomeni speciali, ma contemplati tra quelli delle semplici eruzioni subaeree. Meritano particolare attenzione due di essi: 1.° l' immediata dejezione dei prodotti detritici in mare; 2.° l' immissione in mare delle correnti di lava. Sono fenomeni volgarissimi, giornalieri. Senza pretendere che sempre il Vesuvio piova i suoi lapilli a Cattaro, o porti le sue ceneri a Costantinopoli e in Egitto (*Parte prima*, § 806 e 820), o che sempre il Tomboro ricopra il mare per parecchie miglia, con uno strato di pomici galleggianti (*Parte prima*, § 852); si verificherà difficilmente una eruzione dell' Etna, del Vesuvio, dei cento vulcani dell' Oceano, senza che si formi sul fondo del mare uno strato detritico di pietre, di lapilli, di sabbie e di ceneri. Se il Conseguina nel 1835 fosse stato al posto dello Stromboli o di Vulcano; tutto il fondo del Mare Tirreno, tra Italia, Sicilia, Africa, Sardegna, e Corsica, sarebbe stato coperto da uno strato vulcanico di sensibile spessore. Quanto alle correnti di lava, quante volte quelle del Vesuvio e dell' Etna giunsero al mare! Quella che passò sopra Catania nel 1669, corse in mare 600 metri. Che così il detrito vulcanico possa essere più o meno rimestato e stratificato dal mare; che possa venire in seguito popolato da animali marini, che vi lasciano disseminate le loro spoglie; che anche le correnti possano venire, almeno superficialmente, demolite e converse in detrito, il quale pigli la fisonomia sedimentare, e si popoli di fossili; sono fenomeni naturalissimi, necessarî. Naturalissimo del pari e necessario ne deriva l' altro fenomeno, che, durante le tregue o le paci dei vulcani, ai letti vulcanici, o detritici, o lavici, si sovrappongano strati, o detritici o calcari, di pretta indole sedimentare.

110. Così si spiega come, dopo che i sollevamenti hanno lacerata l'orditura degli antichi fondi marini, noi troviamo tante masse interstratificate di basalti, di trapp, di melafiri, e di tufi basaltici, trappici, melafirici, che non si sanno in nessun modo riferire ad un orifizio di eruzione qualunque, il quale può per avventura trovarsi molte e molte miglia lontano, diviso da monti e da valli dai depositi per lui generati.

111. Io credo che siamo già al punto di aver spiegato la maggior parte di quei trapp, di quei basalti, i quali, coi rispettivi detriti, trovansi interstratificati nei terreni sedimentari nei più classici distretti del globo, per esempio nel Vicentino, nelle Ebridi, e nella Scozia, ecc. Io ebbi campo in quest' anno, nell' occasione del Congresso della *Società italiana di scienze naturali* a Vicenza, di ammirare quegli enormi strati, o piuttosto cumuli, di tufi basaltici, che si trovano nelle vicinanze di Salcedo. Sono

veri ammassi di pietre perdute in cumuli enormi di detrito minore. Quelle pietre basaltiche sono spesso distintamente bollose e scoriacee o, il che vale lo stesso, amigdaloidi. Il tutto annuncia un non so che di caotico, su cui il mare esercitò pochissima azione. Eppure quei tufi sono sottomarini: le grosse ostriche, ed altre marine conchiglie vi hanno preso stanza, aderendo indissolubilmente a quei massi, ruttati da un vulcano. L'indole degli strati arenacei su cui giaciono, le foreste di palme fossilizzate in quei sedimenti, le stesse ostriche aderenti a quei tufi, tutto indica un apparato littorale, edificato in mutuo concorso dei vulcani e dal mare: tutto palesa le dejezioni di un vulcano subaereo, che bombardava il mare vicentino, da un'isola o da un continente, nell'epoca terziaria.

112. Nè ciò avvenne soltanto in epoche così recenti. Io credo che il Vicentino, così ricco di ligniti in concorso colle rocce d'origine vulcanica, possa presentare una ripetizione di quanto avveniva nella Scozia, durante l'epoca carbonifera. Chi si richiama come venne dimostrata l'origine dei grandi letti di carbon fossile, chi ricorda come essi non rappresentino che foreste littorali, e maremme sommerse (*Parte seconda*, §§ 827-838), chi si sovviene anche del caso supposto, in cui le maremme dei Paesi Bassi si coprissero di tropicali foreste, sotto il cielo di Giava, e a' piedi de' suoi quaranta vulcani (*Ib.* § 839), troverà molto intelligibile, e assai istruttivo, quanto passiamo ad esporre.

113. Il signor Geikie, nella già lodata memoria, ci informa come la serie dei terreni carboniferi nella Scozia rivela un periodo di continue eruzioni. Le masse eruttive di quell'epoca disegnano una magnifica zona che si distende, in linea retta, dall' isola Arran alle foci del Forth, ove si dilata uno de' più vasti distretti carboniferi delle Isole Britanniche. Poderosi dicchi torreggiano al presente in rupi fantastiche; gli espandimenti, ossia le correnti di lava, e i letti di ceneri, sono interstratificati da cima a fondo nella serie sedimentare del carbonifero. Sono greenstones, basalti, euriti, felston, ecc.; rocce di natura eminentemente vulcanica. I trapp di Edimburgo, per esempio, dicono una eruzione della potenza di 700 a 800 piedi. Le rocce sedimentari, (§ 95), alternanti sono grès e schisti fossiliferi, a cui si aggiungono i calcari. Miriadi di *cipridi* (piccoli crostacei delle acque basse, stagnanti) costituiscono appunto letti calcarei (*calcare di Burdiehouse*) che ricoprono i prodotti di una grande eruzione, rappresentata da ingente massa di detrito vulcanico, cioè da sabbie rosse, feldspatiche, con pietre d'ogni volume fino a circa 1 metro di diametro. Questa massa detritica si distende sopra un' area di 100 miglia quadrate, e il calcare ne uguaglia tutte le superficiali irregolarità. La natura dei sedimenti e dei fossili accenna ad un golfo paludoso, dove alle pioggie vulcaniche, succedevano i sedimenti. Ma i vulcani che formarono il gran sottostrato del *calcare di Burdiehouse*, continuarono le loro eruzioni anche dopo la deposizione di esso calcare, e i letti di cenere alternano coi calcari carboniferi più recenti, e li ricoprono in guisa, che talora occorre un traforo di 400 piedi prima di toccare i letti carboniferi. Ma su questi trapp superiori si formarono altri letti calcarei, con strati di carbone, sui quali riposa un'altra serie ancora più recente di rocce vulcaniche. Ecco l'ideale di una bassa regione, insulare, maremmana, coperta di vergini foreste, lambita da golfi o paludose lagune, ove le cento volte si alternano la vita e la morte; dove le foreste, i vulcani, le acque, si disputano a vicenda un' area, che di continuo si deprime.

114. Le recenti scoperte nell'isola di Arran rispondono, colle più parlanti specialità, a questo ideale. Edw. A. Wünsch (*Transact. of the Geol. Society of Glasgow for* 1866), scoprì, alla base della serie carbonifera, sulle spiagge N. E dell' isola, dei

Digitized by Google

tronchi ancora in piedi, ossia una di quelle foreste fossili del periodo carbonifero, di cui abbiamo già tanto discorso (*Parte seconda* § § 830 835). I letti che contengono quei tronchi erano già ritenuti come dicchi o come letti di trapp; ma sono veramente letti di ceneri trappiche (*trappean ashes*), ossia ceneri vulcaniche, alternanti con schisti e strati di carbone. Il presente diagramma riproduce questo specchio interessante di formazione vulcanicò-sedimentare. La porzione visibile di questi letti occupa sulla spiaggia del mare, una linea di 400 piedi, e vi si contano non meno di 12 strati

Fig. 4. — Tronchi fossili in strati di ceneri vulcaniche alternanti con strati carboniferi nell'isola di Arran. — *a* Letti di ceneri trappiche, indurate, inviluppanti tronchi fossili. — *a'*. Strati alternanti di carbon fossile, schisti e ceneri. — *b*. Strati alternanti come sopra, con e senza tronchi fossili.

distinti di ceneri, con numerose suddivisioni di strati alternanti di ceneri, carbon fossile e schisti. Ma il totale della formazione, sempre cogli stessi caratteri, presenta un spessore di forse 1000 piedi. Quante volte adunque rimutossi il fondo maremmano, quante volte rinovellaronsi le foreste, e quante volte i vicini vulcani le seppellirono sotto diluvî di ceneri! Quale immenso periodo di sedimentazione marina, di vita terrestre, e di attività vulcanica! Gli strati, ora sollevati, presentano un'inclinazione di circa 37 gradi, e i tronchi interclusi, come dimostra il diagramma, si tengono perpendicolari al piano degli strati. I tronchi scoperti sono da 12 a 14, e si ripetono a differenti livelli. L'altezza di quei tronchi è limitata da quella dello strato di ceneri che li avviluppa, e non sorpassa i 3 piedi. I tronchi stessi offrono indizî di combustione. Attorno ai tronchi, che appartengono alle *Sigillaria*, sono ammassati copiosi rami conservatissimi di *Sigillaria*, di *Halonia*, di *Lepidodendron*, sepolti nella cenere.

115. Non so trattenermi dal ripetere un altro brillante episodio, che vale assai bene a riavvivare le splendide scene di quell'epoca lontanissima. Siamo presso a poco all'altra estremità della zona vulcanica descritta, siamo cioè a Burntisland, sulle coste dirupate del golfo o fiord di Forth. Lo spaccato naturale di quelle coste mette a nudo la solita serie di strati alternanti di basalti, di greenstone, di arenarie, di schisti, di carbon fossile, che attestano come nel periodo del *carbonifero inferiore*, poderose eruzioni alternavano con periodi di riposo, durante i quali la vita animale e vegetale ripullulava e ferveva nei bassi fondi, e sulle maremme. Il signor A Geikie, a cui dobbiamo anche questi particolari (*The geological magazine*, 1864, pag. 22), descrive il seguente gruppo di strati, in serie discendente, i quali non costituiscono che una parte della formazione.

12. Basalto; 15 piedi.

11. Schisti verdi, con *cipridi* e vegetali; 4 piedi.

10. Schisti azzurri coi fossili suddetti; 1 $^1/_2$ piede.
9. Schisti verdi o ceneri, cogli stessi fossili; 14 pollici.
8. Arenario verdi o ceneri, coi medesimi fossili; 6 pollici.
7. Schisti verdi cinerei, e ceneri ugualmente fossiliferi; 3 $^1/_2$ piedi.
6. Schisti verdi oscuri, o neri, con piante.
5. Argille verdi; 1 piede.
4. Carbon fossile; 5 o 6 pollici.
3. Argille brune, schistose; circa 5 pollici.
2. Schisto nero, carbonioso.
1. Greenstone; 15 piedi.

Trattasi dunque di una serie di strati sedimentari, n.° 2 a 11, composti di materiali più o meno decisamente di origine vulcanica, e i cui fossili rivelano l'indole delle maremme o dei bassi fondi. Questa serie si formò durante un lungo intervallo che corse tra le due invasioni di due poderose correnti di lava; la più antica di greenstone; la più recente di basalte, entrambe dello spessore di 15 piedi. Tanto il greenstone, scoriaceo alla superficie, quanto il basalte poroso, scoriaceo, amigdaloide, indicano ciascuno un espandimento sottomarino, o, credo più probabilmente, una corrente di lava, che da terra si spinse a ricoprire il basso fondo marino, di natura torboso, che pur talora cambiossi in maremma, ombreggiata da piante terrestri d'alto fusto. Fin qui nulla che non abbiam già visto altrove, per esempio nell'isola di Arran, di cui descrivemmo or ora la formazione.

116. Ma nuovo e parlante è il fatto di una bomba, lanciata da chi sa quale vulcano, ardente in quei paraggi. È un pezzo di greestone, piriforme, come certe bombe vulcaniche, che si trova confitto verticalmente in mezzo alle argille n.° 5. Esso è caduto certamente dall'alto, per aver forza di schiacciare, e rompere la massa argillosa, già a mezzo formata, penetrando fino al carbone, che pur ne rimase compresso. Il fenomeno è espresso come non si può meglio dal presente diagramma.

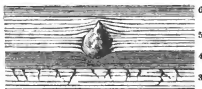



Fig. 5. — Bomba vulcanica nell' argilla carbonifera di Burntisland.

Vedesi infatti lo strato di carbone 4 incavato sotto il peso della bomba; gli strati dell'argilla 5 per metà si ripiegano dall' alto al basso, come quelli che dalla bomba furono schiacciati e rotti; per metà si curvano dal basso all' alto, come quelli che dovettero, in certa guisa, modellarsi sopra la bomba già caduta. Gli schisti 6, e gli strati sovrapposti non presentano nessuna traccia di disturbo.

Chi sa di quali idee grette e convenzionali erano schiavi i geologi, i quali nelle rocce eruttive non videro che masse sollevanti gli strati, o che in essi si intrusero come injettate, mi perdonerà l'insistere, forse soverchio, sopra fatti, in apparenza di poca entità, ma che si accordano così perfettamente a quei fenomeni, che vediamo giornalmente riprodotti sotto gli occhi nostri.

Digitized by Google

117. Tutti i fatti descritti accennano preferibilmente a quegli espandimenti sottomarini di detriti vulcanici, o di correnti, che deriverebbero, o derivano difatti, da vulcani subaerei, litorali o insulari. Potrebbe darsi però che derivassero anche da vulcani appena sottomarini, cioè quasi subaerei, i cui effetti differirebbero per poco da quelli dei vulcani decisamente subaerei, come stiamo per vedere.

Se infatti il vulcano, che noi abbiamo supposto sul lido marino, sorgesse dallo stesso fondo del mare, a poca distanza dalla superficie, diverrebbe facilmente subaoreo ne' suoi parossismi; salvo a subir poscia l'azione degradatrice del mare, che darebbe luogo a speciali fenomeni.

Voi ricordate come l' isola Giulia, vulcano nascosto sotto il mare, alla profondità di 100 braccia marine (*Parte prima*, §§ 888, 889), in breve tempo era divenuto vulcano subaereo, e, ruttando ceneri, lapilli, e fuoco, erasi eretto in forma di isola del giro di 3 miglia e dell'altezza di 60 metri. In quel tempo, funzionando come vulcano litorale, dovette formare all'ingiro, sul fondo marino, un deposito detritico di considerevole potenza. Il vulcano che nel 1783 eruppe dal mare a trenta miglia dalle coste d'Irlanda, coprì di pomici l' Oceano fino alla distanza di 50 miglia, ritardando considerevolmente il cammino alle navi (Lyell, *Principes*, III, pag. 208). Ma, tornando all'isola Giulia, voi ricordate pure come in tre o quattro mesi quella mole era demolita, e a brano a brano inghiottita dal mare. Allora i prodotti della demolizione dovettero ricoprire quelli formati dalla immediata dejezione. Le stesse fasi subì la non men celebre Sabrina (*Parte prima* § 886). È assai presupponibile che, il processo di demolizione di quella mole incoerente essendo così rapido, non lasciasse tempo al mare di elaborare sufficientemente il detrito, sicchè rotolato, sminuzzato, distribuito, assumesse la forma di veri strati sedimentari. I prodotti della erosione non si distinguerebbero allora così facilmente dai prodotti della immediata dejezione. Ma qui ha luogo un fenomeno importantissimo, che pei vulcani littorali non si avvera.

118. Qui avviene, badate bene, la distruzione dell'esterno apparato vulcanico Il cono craterico, è trasformato in una massa, o in una serie di strati di detrito vulcanico. Se i coni vulcanici, anche antichi, ancora torreggiano sulle nostre terre; voi non pretenderete al certo di trovarne là ove sui vulcani nascenti infuria il mare, o dove hannovi i segni più evidenti de'suoi antichi dominî. Quando un distretto vulcanico, e ve ne sono al certo, presenta una serie di interstratificazioni, o di lave o di detrito a strati, di certa origine sedimentare, io non pretenderò più di trovarvi traccia di cono vulcanico, di montagna vulcanica. O il cono esisteva sopra una terra lontana da quei fondi, che si coprivano de'suoi prodotti; ed è vano rintracciarlo sul luogo: o esisteva sul luogo, e venne demolito della furia del mare. Ma non perciò meno vulcanici sono quei lapilli, quelle correnti, quelle ceneri. Siano porfidi, siano melafiri, siano trapp, siano dioriti, saranno sempre lave, anche prescindendo dall'apparato vulcanico, anche isolati in singole masse, in singoli strati, purchè presentino i caratteri delle lave, o compatte o detritiche, che noi abbiamo in loro riconosciuti.

I basalti del Vicentino, i basalti e i trapp della Scozia, coi rispettivi detriti, non sono che esempî di ciò, che si osserva per la maggior parte delle rocce cristalline, sparse in tutti gli angoli del globo, associate alle formazioni sedimentari. Stante l'eguaglianza delle condizioni noi siamo obbligati a considerarli o come prodotti di immediata dejezione, o come prodotti di demolizione.

119. Talora la demolizione sarà completa, talora nol sarà. Le masse incoerenti di lapilli e di ceneri, che compongono la maggior parte del cono vulcanico, saranno assai più presto demolite, che non le correnti, e i dicchi, così compatti, così resistenti. Le masse

di lava potranno dunque andar salve dall'universale sfacelo, e rimanere in piedi, come ossa spolpate, come colonne di un edificio rovinato. Nei distretti vulcanici marini, non sono rare le rupi basaltiche, isolate in mezzo al mare, avanzi di vulcani demoliti, che sorgono in mezzo al detrito accumulato ai loro piedi dalla furia del mare. Le isole de' Ciclopi, scogli basaltici, sorgenti dal mare, nel modo più pittoresco, ne offrono un saggio stupendo. Così, io credo, si spiegano i grandi distretti dell' Elba e del Reno, i monti trachitici e basaltici di Aussig o del Siebengebirge, ove tutto è vulcanico, prettamente vulcanico, salvo l'assenza di quell'esterno apparato, che ancora si ammira nell'Eifel, nell' Alvernia, nella Romagna. Le irte eminenze del Siebengebirge, le rupi fantastiche di Aussig, sono ora correnti, ora dicchi di basalti e di trachiti, che un giorno formavano l' ossatura di montagne vulcaniche. Le rupi trachitiche che sorgono irte e a picco nel distretto del Reno non sono punto, come ben osserva Rath (*Geogn. Mittheil. ü. d. Euganäischen Berge*), forme originarie; ma sono il risultato della erosione che, esportando i detriti vulcanici incoerenti o gli schisti, rispettarono i dicchi o le masse compatte cristalline.

Il mare dapprima, come è molto probabile, l'atmosfera e le correnti terrestri dappoi, spostarono e dispersero quel detrito, che, in forma di tufi vulcanici, in parte ancora li copre, li avviluppa, in parte è accumulato ai piedi di quelle rupi, sole rimaste ad attestare la possa dei vulcani, del pari che la edacità del mare, e degli agenti demolitori.

I celebri scogli delle Ebridi e dell' Irlanda, i basalti di Antrim, e l'isola Staffa colla sua famosa caverna di Fingal, e la vicina isola Boo-Sha-La, ecc., sono, come le rupi di Aussig e del Siebengebirge, ruderi di antichi vulcani.

120. Ma spesso mancano anche tali ruderi monumentali. Nel continuo rimutarsi dei continenti, e per quel dominio prevalente che, nei tempi andati, esercitò il mare sulle aree dei nostri continenti, gli apparati vulcanici dovettero, per dir così, andar perduti nei grandi apparati marini, rappresentati, si può dire, dalla totalità dei continenti stessi. È molto se, tenendo calcolo dei caratteri che affermano l' origine vulcanica delle rocce, possiamo ancora rintracciare le membra sparte degli antichi vulcani, che sorsero sugli antichi littorali, o si levarono dal fondo marino, fino a divenir subaerei, costruendo i loro effimeri edificî, destinati a pascere le furie del mare. I terreni detritici cristallini sono, io credo, la più schietta come la più ordinaria rappresentanza di quei vulcani e quasi tutte le rocce cristalline offrono ad esuberanza delle varietà detritiche, cioè tufi, brecce, conglomerati.

121. Nei distretti porfirici si incontrano sovente brecce e conglomerati porfirici, i quali sembrano doversi ascrivere alle immediate dejezioni dei vulcani insulari, o appena sottomarini, o alla demolizione avvenuta assai rapidamente. Tali brecce constano di frammenti ad angoli vivi, o appena smussati, legati l'uno coll'altro immediatamente, o da più fino detrito. Non offrono nessun indizio di stratificazione. Se siano esse il prodotto di una frizione, o di una corrente porfirica fangosa, a modo dei *trass*, di cui parleremo, è cosa da decidersi, caso per caso, sul campo pratico. È certo però che in molti casi, principalmente quando la breccia è tutta o quasi tutta di identica natura litologica, abbiamo a che fare o con immediate dejezioni di bombe, di pietre, di lapilli, di ceneri; o con detriti di immediata demolizione, che, accumulati sul fondo del mare, talora in brevissimo tempo, non ebbero a risentire per nulla dell' azione erosiva o distribuitiva dell' onde; mentre l' acqua, in cui si adunavano, doveva naturalmente produrne, o facilitarne l' impasto. L' origine suddetta io inclino, per esempio, ad assegnare al conglomerato porfirico, sviluppatissimo nei dintor-

ni di Gana, ma di cui non mi è ancora ben nota la giacitura. Altrove si mostrano, come è da attendersi, in condizioni variissime, per rapporto ai porfidi massicci, o coprendoli, o formandone la base, o vestendone i lati, o separandosene in masse irregolari (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 693), come abbiam veduto succedere dei tufi vulcanici in distretti assai più rispettati dall' azione distruttiva, per esempio ad Aussig e nel Siebengebirge.

122. Il *porfido antico*, ammesso pure che si presenti, come assicura Lefebvre, sotto forma di dicco (§ 25) appare però spesso, osservato negli oggetti d'arte antica sparsi in Italia, sotto forma di breccia molto singolare, che non si saprebbe definire nè come rimpasto, nè come conglomerato di frizione. Il gran bacino di porfido antico, collocato nell' atrio della Galleria Pitti a Firenze, può citarsi come classico esempio della breccia cui accenno. Presenta infatti un vero conglomerato di grossi frammenti di porfido angolosi, a spigoli nettissimi, cementati da un porfido più oscuro, perchè più povero di cristalli di feldspato. I frammenti impastati poi appartengono a due varietà, per cui quel bacino affermerebbe almeno tre eruzioni. I molti e magnifici bacini delle gallerie del Vaticano presentano anch' essi meravigliosamente tal fenomeno. Si direbbe che un mucchio di massi angolosi, tendenti al bigio, fosse stato intriso in un bagno dello stesso porfido, più tendente al rosso.

123. Talora i detriti vulcanici, sottomessi più lungamente o più direttamente all' azione erosiva e distributiva delle onde, vanno assumendo la forma di strati sedimentari. Anzi, a ben riflettere, come prodotti di demolizione si possono considerare tutte le rocce sedimentari detritiche, che constano di elementi cristallini. I grès e i conglomerati sono per la maggior parte in questo caso. Ma qui non prendiamo in considerazione che quelle rocce detritiche, stratificate, che provengono dalla demolizione, immediata e rapida, delle masse vulcaniche; per cui, per quanto modificate, ritengono ancora tanto dell'indole originaria, da venir facilmente confuse colle rocce stesse emersorie. I geologi sono usi ad applicare a tali rocce l'appellativo di *rigenerate*; e lo meritano infatti, poichè, appena scomposte e distrutte dalle onde, sono in seno alle onde stesse ricomposte in ammassi somiglianti ai preesistenti. Sono questi che si vedono presentare un passaggio alle rocce sedimentari, e quasi fondersi con esse, accusando quel processo erosivo, per cui davvero le rocce eruttive si trasformano in rocce sedimentari.

Coquand osservò sul monte di Roquebrune in Provenza, il conglomerato porfirico e le psammiti (arenarie) porfiriche, passare grado grado alle arenarie del grès variegato, che hanno il loro ordinario aspetto (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 713).

La stessa origine deve attribuirsi alle brecce, alle dette psammiti e argille porfiriche, ai conglomerati porfirici che formano, nei terreni di sedimento, strati di tal natura, da venire anch' essi annoverati tra gli strati sedimentari. Tali formazioni sono frequenti nel *Rothliegende* (permiano) di Germania. Constano talora di ciottoli arrotolati, porfirici, in sabbie e fanghi porfirici (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 600).

124. Ma il vulcano, che, se vi ricordate, di littorale si è fatto sottomarino o piuttosto insulare, non ha finito le sue peregrinazioni, a cui lo costringe il nostro supposto. Noi l'abbiamo fatto discendere ad una profondità assai mediocre, perchè nei suoi parossismi vincesse la pressione dell' acqua sovrincombente, e trasformato in vulcano subaereo, prima ancora di sporgere il capo dal mare, grandinasse detriti sul fondo del mare, e dagli stessi detriti accumulati si formasse un' isola, preda infallibile del mare, appena il vulcano riposasse dalla lotta. Non solo le effimere Giulia e Sabrina, ma molte isole, molti vulcani sottomarini, si trovano in questo caso, e

Digitized by Google

tutte vi si trovarono le cento isole vulcaniche degli oceani, prima che, a furia di eruzioni, non si fossero assicurate il titolo di vulcani subaerei.

125. Ma supponiamo di spingere il nostro vulcano ad una profondità sensibilmente maggiore. Che ne avverrà? Noi abbiamo già trattato, anzi esaurito l'argomento (*Parte prima*, XXIX); sicchè non ci rimane che di richiamare il già detto e farne l'applicazione. Abbiamo dimostrato come l'esplosione dei vapori, e quindi la produzione delle pietre lanciate, delle bombe, dei lapilli, delle sabbie, delle ceneri, e conseguentemente dell'apparato vulcanico, sono fenomeni essenzialmente subaerei; nè appartengono ai vulcani sottomarini, se non in quanto essi erompano ad una profondità così limitata, che, ne' violenti parossismi, possano vincere, e spostare la colonna d'acqua sovrincombente, come fecero la Sabrina e la Giulia, trasformandosi in quell'atto in vulcani subaerei (*Ib.* §§ 871, 872). Benchè sia reso così impossibile un complesso di fenomeni, che pure costituisce quanto ha di più imponente, e di più essenziale il vulcanismo terrestre (*Ib.* § 875), non è impedita l'emissione delle lave; anzi nemmeno una certa distensione dei vapori, chiusi nella lava, fino a far equilibrio alla pressione dell'atmosfera dell'acqua, per cui le lave si rigonfino, divenendo porose bollose, e fino scoriacee (*Ib.* §§ 873, 874). Ad una certa profondità sottomarina adunque, impedite le immediate dejezioni detritiche, impedita la formazione dell'apparato vulcanico, che altro ci resterà? Ci resteranno le lave, più o meno porose, bollose, scoriacee, che si dilateranno in espandimenti stratiformi sul fondo marino (*Ib.* §§ 878-880). Quanti trapp, quanti basalti, quanti melafiri, quanti porfidi, si presentano in quello stato che risponde al semplice espandimento di una lava, più o meno porosa, sui fondi marini! e i fondi marini non sono essi rappresentati letteralmente da quegli strati sedimentari, sui quali quegli espandimenti di lava riposano appunto a guisa di strati?

126. Noto come nel supposto caso sarà impossibile anche la formazione del detrito, per la successiva azione erosiva dell'onde. Una lava che si espandesse alla profondità di 30 metri, sarebbe già quasi sicura dall'edacità delle onde (*Ib.* § 220). Eppure è una profondità che non ha senso pei vulcani sottomarini, se la Giulia, erompendo da una profondità di 100 braccia, potè trasformarsi in vulcano subaereo. Se ciò è vero, a che si ridurrà tutto l'apparato vulcanico? Ad espandimenti di lave, di sole lave, le quali potranno essere ancora bollose, e divenir quindi amigdaloidi.

127. A proposito di quest'ultimo carattere delle lave sottomarine, abbiamo già ripetuto più volte come la formazione degli amigdali è un fenomeno conseguente alla formazione della bollosità nelle lave. Non si vuole dir quindi che esso caratterizzi esclusivamente le lave sottomarine. Per l'infiltrazione delle acque mineralizzate possono divenire amigdaloidi anche le lave subaeree, e se ne osservano difatti anche sugli attuali vulcani. Trovo naturale però che gli amigdali si formino più facilmente quando le lave, o in correnti o in detrito, si trovino sommerse. Le lave e i tufi del Vicentino, che danno così evidenti indizî di permanenza sotto il mare, sono anche ordinariamente amigdaloidi, come si rileva dalle *lettere* del Fortis (*Memoires pour servir à l'hist. nat.*, Paris, 1802), e come verificai in più luoghi io stesso. L'infiltrazione acquea in un corpo poroso immerso nell'acqua, è fenomeno così necessario, che è superfluo discuterne. La formazione di minerali, cristallini o concrezionarî, nelle cavità delle masse minerali, ove l'acqua, questo solvente universale, si infiltri, è pur fenomeno volgarissimo. Della formazione degli amigdali, considerata nelle sue più interessanti specialità, ci occuperemo a miglior tempo. Ora ci basti di poterci capacitare come il fenomeno debba aver luogo più facilmente sotto il mare, e quindi

Digitized by Google

in modo più facile per le vere lave sottomarine, a considerevoli profondità. Ma vi ha un'altra ragione perchè dette lave si distinguano per la loro struttura amigdaloidale; e questa fu già da noi considerata (*Parte prima* § 884). Abbiamo riflesso infatti come, so la pressione è tale che permetta, se non lo sprigionamento, almeno una certa distensione dei vapori, si formeranno dei vacni bollosi: in questi vacui i vapori rimarranno incarcerati, e vi avrà luogo più facilmente il deposito, ossia la cristallizzazione o l'incrostazione, tanto per l'abbandono delle sostanze sciolte nel vapore ad alta temperatura, quanto per infiltrazione dall'esterno di acque o di vapori mineralizzati.

128. Ridotto l'apparato vulcanico all'esistenza delle sole lave, compatte o bollose, in forma di espandimenti o di dicchi, ormai non v'è più roccia cristallina che non si trovi in perfetta analogia colle lave degli attuali vulcani. Resta però ancora un passo a farsi, perchè sia impedito, non solo lo sprigionamento, ma anche la distensione dei vapori e dei gas. Per ottener questo non abbiamo che a sprofondare anco maggiormente il nostro vulcano. Non è agevole calcolare quale possa essere la tensione del vapore acqueo imprigionato entro una lava incandescente; ma io credo che nessuno dei fisici dubiterà che una pressione di 100, 200, 300 atmosfere non equivalga al pallone di cristallo, in cui si ottiene l'acqua, per l'accensione del gas tonante, o all'apparato in ferro, in cui Daubrée porta l'acqua al calor rosso. Eppure la profondità di 3000, 6000, 9000 piedi, ove si verificherebbero le pressioni di 100, 200, 300 atmosfere sono ancora profondità mediocri, mentre la massima oltrepassa i 28,000 piedi (*Parte prima*, § 15). A tali profondità adunque, anzi probabilmente a profondità molto minori, ogni espansione di vapori e dei gas sarà interamente impedita, e la lava sgorgherà dalle voragini sottomarine, tranquilla, senza alcuna effervescenza, come un'acqua di seltz, satura di gas acido carbonico, che passa dal recipiente ove si forma alla boccia, ove si conserva, sempre mantenuta sotto una uguale pressione. L'apparato vulcanico sarà ridotto ad un semplice espandimento di una lava compatta.

129. A quanto si è dimostrato fin qui circa le accidentalità caratteristiche delle lave sottomarine si potrebbe opporre, che, alla fin dei conti, queste lave sottomarine non furono vedute mai di fatto espandersi sul fondo marino, e gonfiarsi, o rimanere compresse, a misura della profondità sottomarina. Certo una volta che sia impedito lo sprigionamento dei vapori o dei gas, non resta più nulla che ci avvisi di un fenomeno, il quale si consuma nel silenzio dei marini abissi. È ragione questa per non ammettere eruzioni vulcaniche alla profondità richiesta, e, ammessa la loro esistenza, per negare che l'eruzione debba succedere, come noi abbiamo detto? Quando abbiasi il novantanove di certo, in base alla osservazione, non si potrà dir cento, se il cento scaturisce, come una necessaria conseguenza, dai fatti riconosciuti? Farà bisogno che uno discenda alla profondità di 6000 e di 9000 piedi, per poter asserire che, a quelle profondità, vi è una pressione di 200 e 300 atmosfere, pressione ingente, capace di far equilibrio al vapore acqueo, quando avesse una tensione 10 o 15 volte maggiore di quella a cui si porta nelle più potenti caldaje a vapore?

Quello che poteva dare l'osservazione ce lo ha dato. L'esistenza dei vulcani sottomarini è un fatto in cento modi accertato. Le scosse provate dai bastimenti nell'Atlantico, e gli sbuffi di fumo osservativi da Krusenstern (*Parte prima*, § 871), rivelano già con certezza un vulcano sottomarino a tale profondità, che, appena ne'suoi massimi parossismi riesce a dar segno di vita. Che quella profondità si aumenti, e nessun indizio ne rivelerà l'esistenza. Ma cesserà egli di esistere per ciò?

130. L'eruzione che ebbe luogo recentemente alle isole Azore, già così celebri

Digitized by Google

negli annali delle eruzioni sottomarine, offre, secondo me, quanto di meglio si può desiderare, per rispondere all'ideale di un vulcano sottomarino, e per manifestare all'esterno, quanto è possibile, ciò che si opera, secondo il nostro concetto, nelle marine profondità. Piglio questi cenni da una relazione di F. Fouqué nella *Revue des cours scientifiques*, 15 febbrajo 1868. — Fin dal dicembre del 1866 i terremoti, facendosi sentire sull'isola Terceira, annunciavano l'intestino lavoro, e i primi conati di una eruzione. Tra l'1 e il 2 di giugno del 1867 si udirono otto detonazioni terribili, e sullo spuntar del giorno, apparvero i primi segnali della eruzione. Il mare si presentava, sopra larga estensione, colorato di un verde giallastro, e alla distanza di tre miglia dalla costa si manifestava un ribollimento intermittente, che, debole dapprima, e a periodi d'intervallo, andava sempre più crescendo, e diveniva più spesso, finchè attinse il suo maximum il 5 giugno. Di tratto in tratto si era visto l'acqua levarsi a guisa di un getto verticale; ma il 5 giugno apparvero simultaneamente sei o sette enormi colonne di acqua e di vapore, che, lanciandosi impetuose sopra il livello del mare fino all'altezza di più centinaja di metri, si curvavano in forma di bianca nube, ripiegata dal vento. Getti di nere scorie si disegnavano sul fondo bianco dei getti vaporosi. Nè quelle colonne si vedevano slanciarsi sempre sullo stesso punto, ma or qua or là, quasi erranti entro uno spazio elittico, lungo 5 chilometri, e largo 1: e quando i getti, sempre intermittenti, mostravansi insieme, vedevansi disegnare una serie lineare, a disuguali intervalli, diretta approssimativamente da E a O. Le acque scorgevansi, fino alla distanza di 10 miglia, colorate in verde, in giallo, in rosso, da soluzioni ferruginose. Nessuna traccia però nè di fiamma, nè d'incandescenza: i fischî soltanto e le detonazioni, quasi scoppî di folgori, rivelavano, nell'oscurità delle notte, i furori della eruzione. Nessuna isola apparve, nessuna eminenza craterica sporse il capo delle onde. La sera del 5 giugno, l'eruzione era già spossata; col 7 giugno cessavano i getti di scorie, e poco dopo anche il vapore era scomparso. Sbuffi di gas infiammabile, composto di una miscela di protocarburo d'idrogene, d'azoto e d'ossigene, divisi in una miriade di bolle, tradivano, di cinque in cinque minuti circa, gli ultimi aneliti del vulcano sottomarino, oltre a due mesi più tardi.

131. Riflettete ben bene alla successione dei fenomeni, presentati da quel vulcano sottomarino. L'eruzione era, con ogni probabilità, cominciata prima della notte tra l'1 e il 2 giugno; preceduta, come sempre, da terremoti, fu annunciata nel suo parossismo da una salva di terribili detonazioni. Ma badate alla meschinità di apparato con cui il vulcano sottomarino si presenta sulla scena del mondo visibile, e confrontatelo coll'ingresso, sempre così mostruosamente spettacoloso, de' vulcani subaerei. Un coloramento del mare, o un debole bollore a larghe intermittenze, ecco tutto. Non può meglio rivelarsi quella lotta che, nelle profondità sottomarine, deve impegnarsi tra i vapori del vulcano a forte tensione, e l'incubo di una colonna d'acqua, che può essere per poco di un centinajo di atmosfere. Il vapore non può vincere, se non a patto di superare colla sua tensione la pressione dell'acqua; e poi ancora si trova alle prese col freddo elemento che, concentrandolo, lo uccide. Solo qualche sbuffo più potente riesce a dar segno, oltre la superficie del mare, dell'ira compressa del vulcano. In questo stato non può certamente il vapore esercitare una gran forza meccanica; le scorie, i lapilli, le ceneri non possono certamente formarsi. Ma a poco a poco il vapore piglia il sopravvento sulla pressione: il riscaldamento dell'acqua marina singolarmente, permette al vapore di guadagnare, senza concentrarsi, la superficie del mare. Nè faccia meraviglia che il mare si riscaldi, e bolla come caldaja al fuoco di tali fornelli. Le barche che si avvicinavano all'Isola Bianca, sorta nel

Digitized by Google

golfo di Santorino, nella celebre eruzione del 1707, avevan fusa la pece, onde erano calafattate, a ragguardevole distanza dall'isola stessa, e dove non si toccava il fondo con uno scandaglio di 95 braccia (Padre Tarillon nella *Scelta di lettere edificanti*, Tom. VII, pag. 137). Il vapore, non solo guadagna la superficie del mare, ma vi giunge in poderose colonne. A volte a volte, spazzandosi interamente la via, si trasforma quasi in vulcano subaereo, e grandina pietre e scorie. Ma l'incubo del mare non gli permette la pienezza del trionfo: non un raggio di luce, fulminato dalle profondità sottomarine, colora le nubi vaporose durante la notte. Ogni più meschina eruzione dello Stromboli supera in grandiosità questo, forse poderosissimo vulcano, delle Azore. E ben presto il mare ripiglia il sopravvento. Cessano i getti detritici; il vapore scompare, soffocato dalla pressione, e dalle acque fredde, che di continuo tendono a sostituirsi alle calde. I gas, cui l'acqua non concentra, sorgono soli per lungo tempo. Ma essi pure scompajono. Certo si producevano ancora, che i fumajuoli vaporosi e gazosi, sembrano eternare la vita dei vulcani subaerei; ma la pressione dell'acqua li incarcerava entro le lave.

132. È troppo facile intendere come, i fenomeni che si verificano, rimanendo costante la pressione, cioè la profondità del mare, e variando la tensione dei vapori, per l'attività crescente o diminuentesi del vulcano, si verificherebbero, perfettamente identici, se, rimanendo costante la tensione dei vapori, variasse la pressione; cioè la profondità delle acque. Lo stesso vulcano adunque, che, ad una data profondità, fosse capace di lanciare al diffuori colonne di vapore e di scorie, non produrrebbe che getti intermittenti, o semplici ribollimenti a profondità maggiore, o sole bolle gazose, o infine nessun fenomeno esterno, a sempre maggiori profondità. Quindi, sempre lo stesso vulcano, ad una data profondità, non avrebbe che le lave rigonfie dai vapori che rimarrebbero in esse distesi ma incarcerati; o finalmente non riverserebbe che lave, ove i vapori e i gas essendo interamente impossibilitati a distendersi, non produrrebbero nè vacui nè bollosità.

133. Una volta che siano impediti ogni sprigionamento, ogni distensione di vapori o di gas; che non abbiano quindi più luogo nè lapilli, nè ceneri; non si formi più un cono vulcanico; non più lave bollose o amigdaloidi, non più detrito sottomarino, nè per immediata dejezione in mare nè per demolizione; una volta insomma che sia tolta la possibilità di un apparato vulcanico, e de'suoi costitutivi: che cosa ci resta?.... Ci resta del vulcano ciò che vi ha di veramente essenziale.... la lava..... un magma cristallino, un impasto di cristalli, compatto, idrato... infine un granito.

VI. Studio sullo stato comparativo di idratazione delle rocce vulcaniche a conferma della loro distinzione in subaeree e sottomarine.

Il granito come tipo delle lave sottomarine, 134. — *Rocce cristalline idrate e anidre*, 135. — *Graduamento della idratazione*, 136. — *Spiegato con un artificio dell'arte vetraria*, 137. — *Idratazione concomitante e conseguente*, 138. — *Studî di Scheerer sull'idratazione dei graniti*, 139. — *I graniti sono lave*, 140. — *Studî microscopici di Sorby*, 141. — *Pori acquei nel quarzo*, 142. — *Pori vitrei e pori lapidei*, 143. — *I graniti sono idrati*, 144. — *Vulcanicità dei graniti proclamata da Scheerer*, 145. — *I graniti non sono una eccezione tra le lave*, 146. — *Valore della distinzione tra le rocce anidre e idrate stabilita da Delesse*, 147. — *Difficoltà di uno studio comparativo in proposito*, 148. — *Tabella dello stato di idratazione delle rocce cristalline*, 149. — *Come ne risultino i due gruppi stabiliti da Delesse*, 150. — *Anidre in genere le rocce recenti subaeree*, 151. — *Idrate le antiche sottomarine*, 152. — *Principî derivati dallo studio comparativo della idratazione delle lave*, 153. — *Specialità delle rocce anidre*, 154. — *Sullo stato di idratazione delle pomici e delle perliti*, 155. — *Delle retiniti*, 156. — *Specialità delle rocce idrate*, 157. — *Porfidi, sieniti, dioriti*, 158. — *Fonoliti e rocce basaltiche*, 159. — *Grünstein, melafiri, spiliti*, 160. — *Difficoltà dedotte dallo stato di idratazione dei graniti*, 161. — *Si risponde*, 162. — *Si ribadisce l'idea della origine vulcanica dei graniti*, 163. — *Conformità delle idee di Scrope*, 164. — *Si combatte un supposto di Lecoq*, 165. — *Conclusione*, 166.

134. I graniti rappresentano adunque il tipo delle lave sottomarine. Prive d'ogni corredo di forme accessorie e accidentali, si tengono strettamente alle essenziali, presentandosi o come *dicchi*, o come *espandimenti*. Quanto alla struttura e alla composizione loro, diceva che sono magma cristallini, o impasti di cristalli, compatti, idrati. Quest'ultimo predicato non è devoluto soltanto ai graniti, ma a tutte le lave

Digitized by Google

sottomarine. Noi non ne abbiamo fatto parola nelle dimostrazioni precedenti, riserbandoci di insistere più opportunamente sopra un carattere di tanta importanza, che presta forse il miglior argomento, per distinguere, dalle subaeree, le lave sottomarine.

135. La tesi non vi deve tornare nuova; anzi è già per noi dimostrata. Vi ricorderete, infatti, come l'effetto principale della pressione enorme, sopportata dalle lave profondamente sottomarine, doveva essere il condensamento del vapore, o dell'acqua pronta a sciogliersi in una massa di vapori, entro i pori della lava, che ne è tutta in origine compenetrata; sicchè, dicevamo, quel vapore, senza formare nessun vacuo, nessuna vescicola, passerà, raffreddandosi, allo stato liquido. Avremo quindi una lava compatta, tutta penetrata dall'acqua, nello stato di massima divisione; avremo una *lava idrata*, mentre la lava subaerea, in seguito al libero svolgimento del vapore, rimarrà allo stato di *lava anidra*. (*Parte prima*, § 876.)

136. Fra quella profondità tuttavia, che impedisce ogni sviluppo di vapore, e quelle regioni superficiali, ove un vulcano si comporta a guisa di vulcano subaereo (Sabrina, Isola Giulia, ecc.), esiste una media, o piuttosto una gradazione di medie, ove i vapori, nè sono totalmente compressi entro le lave, nè sono liberi di sprigionarsi; ma possono dilatarsi, distendersi più o meno, fino a che la loro forza espansiva si equilibri colla compressione esterna. Avverrà quindi un proporzionale rigonfiamento delle lave, che si riempiranno di cavità bolliformi.

137. I vetrai, quando hanno soffiato bastantemente all'estremità di un tubo di ferro, perchè si formi una piccola cavità nella pasta di vetro incandescente, che ne tura l'altra estremità, vi lasciano cadere un pochino d'acqua, e turano col pollice l'imboccata estremità. L'acqua, mantenuta allo stato sferoidale al contatto della pasta incandescente, svapora lentamente, colla massima regolarità; il vapore reagisce contro le plastiche pareti, e la pasta vitrea si distende e assume la forma di una bolla. Quando al pollice si sostituisse un mastice permanente; il vapore, che dilata la bolla, raffreddandosi e condensandosi a suo tempo, rimarrebbe sotto forma di liquido in seno alla bolla medesima. Se poi il vapore tenesse in soluzione certe sostanze, per esempio dei silicati, la cui soluzione è condizionata ad una elevata temperatura, la sostanza disciolta, col raffreddarsi del liquido, si deporrebbe sotto forma o di cristalli, o di incrostazione cristallina, e la bolla del vetrajo si trasformerebbe in drusa o in geode cristallina. Vedremo come il paragone può essere fecondo di molte applicazioni. Per intanto non ne caveremo altra conclusione che questa: i vapori non possono svolgersi dalle lave ad una certa profondità sottomarina. Il pollice del vetrajo è rappresentato dal mare. Ma è facile intendere come la pressione, esercitandosi nel caso nostro anche sulla pasta vitrea (badisi bene che io dico vitrea, perchè trattasi veramente di vetro), rappresentata dalla lava, può impedire la distensione del vapore, e quindi la formazione della bolla, cioè il rigonfiamento, la bollosità delle lave. Ma in tutti i casi l'acqua rimarrà imprigionata nella lava; per cui le lave sottomarine, o compatte, o bollose che siano, saranno sempre lave idrate, all'opposto delle lave subaeree, che risulteranno, almeno relativamente, anidre, cioè senz'acqua.

138. Non è a dirsi perciò che le lave saranno tanto più idrate, quanto più profondamente siano sottomarine, cioè compatte. Bisogna riflettere che l'idratazione delle rocce cristalline, quali ci si presentano sotto l'analisi, se deve per molti argomenti, che andremo esponendo, attribuirsi all'acqua, uno dei necessarî costituenti del magma lavico; può anche in gran parte attribuirsi a posteriore infiltrazione di acque mineralizzate. La formazione degli amigdali, cioè il riempimento delle bolle,

mediante minerali eminentemente idrati, è, almeno per la quantità maggiore, il risultato di un processo, messo in giuoco posteriormente al raffreddamento delle lave; e la quantità delle acque minerali richiesta dal processo è troppo più di quella che entra, in origine, nella composizione dei minerali, costituenti le lave stesse. Sono premesse, che verranno dimostrate più tardi; delle quali intanto si deduce che, tra le lave sottomarine, hanno ragione di essere idrate, a preferenza delle più compatte le lave più porose e bollose, le quali prestano più liberi sentieri, e vacui più cospicui alle acque filtranti. Vediamo quanta sequela di fatti viene a porsi d'accordo colle nostre logiche induzioni.

Le esperienze di Scheerer, di Sorby e degli altri, che, seguendone le tracce, vennero a dimostrare e l'idratazione dei graniti, e la parte che l'acqua rappresentò nella loro formazione, furono, e troppo, e troppo poco apprezzate dai geologi, i quali, o vollero riconoscervi i caratteri di un'origine sedimentare, o si ostinarono a non ravvisarvi che il risultato di una fluidità ignea. Noi vedremo di cogliere nel vero, tenendoci sulla via di mezzo, così poco battuta.

139. I risultati ottenuti da Scheerer, in seguito a studî perseveranti e minuziosi sulle masse granitiche di Scandinavia sono così riassunti da Scrope: « Dopo avere dimostrato, per via d'analisi, che l'acqua si combina chimicamente col minerali del granito, in proporzioni che raggiungeranno fino il 10 per 100, conchiude che un tempo il granito formava una *pappa acquosa* (bouillie aqueuse), un magma umido, ingredienti del quale erano gli idrati di selce, d'allumina e altre basi. In quello stato il granito occupava uno spazio assai più considerevole, che nelle sue abituali condizioni di solidità; era portato a temperatura altissima, e soggetto a tale pressione, che vietasse l'evaporazione dell'acqua, sicchè agli atomi solidi, già disgiunti o tendenti a disgiungersi per effetto del calore, era accresciuta una tale tendenza dall'interposizione di un vapore, sotto alta pressione, donde alla fine una assai maggiore fluidità della massa. Se tale stato del granito vuolsi considerare come uno stato di fusione, non è quello certamente di fusione ignea (Scrope, *Les volcans*, pag. 282). »

140. Qui, come ognun vede, noi tocchiamo già inopportunamente la questione della genesi prima, della formazione interna dei graniti e delle lave, questione cui non potremo intavolare, se non quando sia dimostrato pienamente se i graniti, e le rocce cristalline in genere, siano o non siano *lave*. Intanto però, se (come Scrope dimostra e noi, dietro la sua scorta, dimostrammo) le lave, erompenti dai vulcani, non sono che ammassi cristallini, la cui fluidità non consiste, per molta parte, che in una *mobilità* impressa a' cristalli dal vapore acqueo, che di continuo si sprigiona dai più remoti insterstizî (Scrope, *Les volcans*, pag. 307 e *Parte prima*, § 827), nessuna differenza distingue, in origine, i graniti dalle lave.

141. Ma la maggior importanza delle osservazioni di Scheerer sta nell'aver messo in luce la parte, dirò quasi, di elemento generatore, che l'acqua rappresenta nella formazione delle lave, e sotto questo punto di vista noi le riporteremo più tardi. Intanto risulta dalle osservazioni del lodato autore, che nei graniti si scopre una notevole quantità di acqua. Le osservazioni microscopiche di Sorby ci illuminano di più sul modo con cui l'acqua si trova nei graniti; sicchè in vero nulla di meglio si sarebbe potuto desiderare, per dimostrare col fatto, come l'acqua, unita in origine alla lava granitica, in uno stato di estrema suddivisione, venne dalla pressione incarcerata entro i suoi microscopici recessi, impossibilitata a riunirsi in bolle, a sfuggire; come avrebbe fatto indubbiamente, se non fosse stata compressa nelle profondità del mare.

Digitized by Google

Le osservazioni di Sorby furono consegnate ad opere diverse (*Quart. Journ. Geol. Soc.* 1858. — *Bull. Soc. Géol.* 1860, pag. 571. — Naumann, *Lehrb.*, II. pag. 52). Io preferisco di attingerle al Bischof (*Lehrb. d. chemisch. u. physikal. Geologie*, II, pag. 869) che le riporta in un sunto, scritto da F. Zirkel, il quale, allo osservazioni di Sorby, aggiunge le proprie.

142. Il quarzo del granito svela sotto il microscopio, singolarissime specialità. Era già noto che i cristalli di quarzo, come i topazi e gli spati fluori, contenevano cavità ripiene di fluidi; ma che questo fenomeno non fosse un privilegio dei cristalli liberi, ma appartenesse anche al quarzo granuloso, costituente il granito, è scoperta che si deve a Sorby, dacchè imprese a sottoporre al microscopio i graniti di Cornovaglia. Zirkel estese lo osservazioni ad altri graniti, presi sopra diversi punti del globo, sicchè il fatto acquistò una decisa importanza dalla sua generalità. Questi microscopici alveoli, contenenti un fluido, e chiamati *pori acquei* (Wasserporen) sono in tutto e per tutto analoghi a quelli che lo stesso Sorby osservò nei cristalli ottenuti con una soluzione, e che contengono parti di essa soluzione, impigliate nei cristalli in formazione. Tutta la massa quarzosa osservata al microscopio, è seminata di tali pori, minori e maggiori. Alcuni di quei pori hanno sufficienti dimensioni, perchè Sorby vi osservasse distintamente una bollicina natante sopra il liquido, ossia un vuoto simile a quello del livello ad acqua, prodotto assai probabilmente dal restringimento del liquido, in seguito al raffreddamento del granito. Più recentemente il signor Zirkel, osservando al microscopio il quarzo del granito di Marcadau, negli Alti-Pirenei, vi osservò innumerevoli cavità, ripiene di liquido, su cui le bollicine aeree danzavano senza posa, come esseri viventi, in preda al moto molecolare, detto moto Browniano (*N. Jahrb.*, 1866, pag. 781).

143. Oltre ai *pori acquei* si scoprono, benchè assai più radi, nel quarzo dei graniti dei *pori vitrei* (Glasporen), e dei *pori lapidei* (Steinporen), i quali non sarebbero infine che riempimenti di pori acquei, druse, geodi, amigdali microscopici.

I descritti accidenti di struttura del quarzo dei graniti, si ripetono identici nel quarzo dei porfidi o delle trachiti, sicchè può dirsi che la presenza di una quantità grande di pori acquei, talvolta amigdaloidali, è caratteristica del quarzo delle lave.

144. Dalle osservazioni riferite, risulta adunque come il granito contiene dell'acqua, ad uno stato di massima suddivisione. Le analisi chimiche non ci permettono di dubitare che il liquido, onde sono ripiene quelle cavità microscopiche, non sia acqua. E quell'acqua non poteva certamente rimanere incarcerata entro quei pori, se il granito, supposto come le ordinarie lave dotate di temperatura elevata, fosse stato eruttato sotto la libera atmosfera; ma stretto in fondo al mare da enorme pressione, conservò la sua acqua nelle microscopiche cavità.

145. La presenza originaria dell'acqua nei graniti parve ad alcuno, forse non troppo bene informato, un fenomeno così strano, che si pose a considerare il granito stesso come un qualche cosa di eccezionale nella gran famiglia delle rocce cristalline; si giunse fino a sospettarne, a difenderne l'origine sedimentare, e si finì a fare del granito quasi un mito geologico. E perchè? Ci trovate voi una ragione, per considerarlo come un qualche cosa di essenzialmente distinto delle altre lave? Scheerer, quello che rimise in campo, dopo Werner, e più efficacemente sostenne quella, direbbesi *teoria della origine acquea del granito*, era ben lontano dal negarne *l'origine eruttiva*. Parlando di quelli che sostengono l'origine eruttiva dei graniti aggiunge nel modo più esplicito: *et je suis de leur nombre* (*Bull. Soc. Géol.*, 2. Sér., tom. 4, pag. 487): o mentre dice, che il granito formava una specie di *boullie aqueuse*,

non dubita di affermare, che egli ammette il *fuoco* (cioè l'alta temperatura) *come un agente essenziale nella formazione del granito* (*Ib.* pag 491).

Considerando così il granito come una lava, metteva in evidenza dei fatti, che ci serviranno di punto di partenza e di fondamento, quando avvisceremo alla scoperta dei segrèti processi, messi in opera dalla natura, per formare, in seno alla terra, i graniti non solo, ma tutti gli impasti cristallini, che furono in tutti i tempi riversati all'esterno per le fauci dei vulcani.

146. Infatti non si sa intendere come si trovasse qualche cosa di eccezionale in ciò che i graniti hanno di commune collo altre lave. Eran forse i graniti le sole rocce cristalline idrate? Erano quelli almeno che contenessero una maggior copia di acqua? Nè una cosa, nè l'altra.

Parlando, non solo del granito, ma delle rocce granitiche in genere, noi ci troviamo parecchi minerali, o costitutivi, o sparsivi abbondantemente, i quali contengono acqua in abbondanza; una vora acqua di combinazione, necessaria alla genesi dei minerali, quindi non infiltratavi posteriormente alla loro formazione. Secondo Scheerer il mica, la pirite, il talco, l'amfibolo, la tormalina, minerali che rappresentano una parte così importante nella costituzione dei graniti, dei protogini, delle sieniti, dolle dioriti, ne contengono da 4 a 5 per 100; la clorite, 10 per 100; la natrolite delle sieniti di Norvegia 10 per 100. Bisogna però confessare che negli altri due elementi essenziali del granito, il quarzo e il feldspato, l'acqua non si contiene che in ragione di uno a due millesimi, per cui Durocher, nella sua memoria contro Scheerer (*Bull. Soc. géol.*, 2 Sér., Tom. 4, pag. 1018) stima che il granito non possa contenerne, a priori, che meno dell'1 per 100, mentra altre rocce cristalline, vulcaniche o pseudo-vulcaniche abbondano in generale di acqua. Queste assorzioni sono appoggiate alle analisi delle diverse rocce, che Durocher riporta in due copiose tabelle.

147. Ma è dunque falsa la distinzione che Delesse, abilissimo osservatore ed sperimentatore, stabiliva tra le lave vulcaniche e le rocce cristalline, chiamando *anidre* lo primo, *idrate* le seconde? È falso ciò che, consentaneamente allo idee di Delesse, asseriva recentemente Lecoq (*Les eaux minérales*, pag. 2), con frasi così assolute, dicendo che tutte le rocce eruttive contengono acqua, dal granito al basalte, mentre le lave moderne *sono le sole che non ne contengono?*

Qui dunque bisogna ricorrere ai fatti, ed esaminare quanto ci sia di vero negli asserti di Durocher e in quelli apparentemente opposti di Delesse e di Lecoq. Spero di mostrarvi anche qui, come il segreto della conciliazione, consista nella giusta apprezziazione di quegli stessi fatti che gli autori invocano a sosteguo delle tesi più opposte.

148. La recente opera di Zirkel (*Lehrbuch der Petrographie*) offre forse la più ricca colleziono di analisi litologiche. Scorrendo quelle tabelle analitiche, per vedere, se dallo studio comparativo dello stato di idratazione delle diverse rocce cristalline, potesse scaturire qualche legge facilmente dimostrabile; dovetti di leggeri accorgermi che non basta al nostro scopo l'averci sott'occhi centinaia di analisi, ma bisognerebbe che ogni saggio di roccia analizzato si presentasse col corredo di quelle indicazioni di giacitura e di tutto quello, per cui si potesse attribuire il debito valore al grado maggiore o minore di idratazione. Ma di tali elementi vi ha vera penuria, e nell'opera di Zirkel, e in tutte le opere somiglianti. Le analisi si fanno nei laboratori, sopra collezioni di pietre raunaticce, di cui è già troppo se si conosce la provenienza geografica.

Mi provai a comporre una tavola comparativa dei massimi e dei minimi; ma que-

Digitized by Google

sta non mi conduceva a nessun risultato; perchè non vi aveva dal minimo al massimo quella gradazione che annuncia una legge progressiva o regressiva, la quale si cerca appunto nel confronto dei massimi e dei minimi. Se, per esempio, per le *trachiti quarzifere* io piglio dalla tabella di Zirkel, la quantità d'acqua (ritenuta equivalente alla perdita subíta nell'analisi) trovo un minimo di 0,00 per 100, e un massimo di 3,22 per 100. Si può credere adunque che le trachiti quarzifere presentino nel grado di idratazione una gradazione da 0, a 3,22. Ma non è punto così. Su 13 analisi, raccolte da Zirkel (*Lehrb.* II, pag. 159), 6 non contengono acqua; 3 non ne contengono nemmeno la metà di $^1/_{100}$; 3 sorpassano l' $^1/_{100}$ e presentano un massimo di 1,71; poi di lancio si passa a quell' unica varietà (trachite con cristalli frantumati di quarzo del monte Hradek presso Nagy-Mihaly in Ungheria) che presenta la quantità d'acqua, relativamente enorme, di 3,32 per 100. Ecco adunque come queste lave, che meritano, relativamente, il predicato d'anidre, verrebbero a collocarsi tra le più idrate, per un saggio raccolto, probabilmente, in condizioni affatto eccezionali. E tali sconci si sarebbero riprodotti più volte nella tavola dei massimi e dei minimi.

149. Pensai adunque che sarei riuscito a qualche cosa di meglio scrivendo una tavola delle *medie*; poichè allo stabilimento della media, concorrendo tutte le varietà, sarebbe ridotto entro più equi limiti il valore delle varietà eccezionali. Ma perchè la *media* avesse un valore bene apprezzabile, bisognerebbe che il numero delle analisi fosse molto maggiore, o almeno uguale, per ciascuna specie di rocce. Nè una cosa nè l'altra si verifica. Mi risolsi in ultimo a presentare riunite in una sola tabella le minime e le massime e le medie, sperando, che pur si arriverebbe a qualche conclusione meno infondata, collo studio comparativo di tutti i dati. Trarremo però miglior partito dal confronto tra quelle rocce che sono sufficientemente documentate, e presentano quindi gli elementi di uno studio comparativo più decisivo. Nel quadro seguente le rocce sono disposte nell'ordine progressivo delle rispettive medie di idratazione. La prima colonna numerica esprime il numero delle analisi riportate da Zirkel per ciascuna roccia.

Tabella rappresentante lo stato di idratazione delle rocce cristalline.

	Analisi numero	Minima	Massima	Media
Andesiti augitiche	6	0,00	0,47	0,08
Obsidiane	8	0,00	0,76	0,29
Graniti	10	0,00	2,34	0,35
Leucitofiri	6	0,00	0,91	0,41
Trachiti a sanidino e oligoclasio	5	0,00	1,00	0,50
Andesiti orneblendiche quarzifere . . .	6	0,20	1,12	0,51
Lave basaltiche	7	0,00	3,93	0,58
Trachiti quarzifere (Lipariti)	13	0,00	3,22	0,63
Andesiti orneblendiche non quarzifere . .	6	0,00	1,25	0,74
Trachiti a sanidino (Sanidin-Trachyte) .	3	0,00	2,02	0,79
Porfidi quarziferi (Felsitporphyre) . . .	9	0,55	1,97	1,02
Sieniti	7	0,62	1,31	1,06
Fonoliti	6	0,71	3,19	1,95

Digitized by Google

	Analisi numero	Minima	Massima	Media
Dioriti	5	0,80	1,90	1,26
Anamesiti (rocce basaltiche)	5	0,00	3,00	1,32
Doleriti (rocce basaltiche)	6	0,00	2,80	1,42
Basalti	7	0,00	2,35	1,43
Porfidi ortoclasici	6	0,78	3,40	1,48
Diabasi (Grünstein)	6	0,70	3,89	2,07
Perliti	7	0,00	3,94	2,09
Melafiri	10	1,62	3,80	2,97
Pomici	7	0,00	15,06	3,71
Spiliti	4	3,00	6,45	4,97
Retiniti (Pechstein)	9	4,86	9,50	7,27

150. Uno sguardo alla esposta tabella, per quanto redatta sopra documenti troppo insufficienti allo scopo, rivela dei fatti complessivi abbastanza decisi. Ordinando le rocce secondo la media d'idratazione, noi le vediamo separarsi quasi in due gruppi. Il primo potrebbe nominarsi, sempre relativamente parlando, *gruppo delle rocce anidre*, e si estenderebbe dalle *andesiti augitiche* alle *trachiti a sanidino*. Da queste ultime ai *porfidi quarziferi* c'è un salto riflessibile della media, che, da 0,79 per 100 si porta a 1,02, e continua quindi rapidamente crescendo fino a 7,27, media d'idratazione delle *retiniti*. Il secondo gruppo, che si estende dal *porfido quarzifero* alle *retiniti*, si chiamerebbe *gruppo delle rocce idrate*.

151. Ora si osservi, che nel *gruppo delle rocce anidre*, ove la minima si mantiene costantemente a 0,00 (salvo che nelle *andesiti orneblendiche quarzifere*, ove abbiamo una minima di 0,20) si contano le vere lave moderne, appartenenti ai vulcani attuali o assai recenti, in genere *subaeree*. Fanno eccezione i *graniti*, i quali suonano come una vera stnonatura, in mezzo alla congerie delle lave moderne. Oltre a ciò si osservano in questo gruppo delle rocce anidre delle *massime* assai risentite che sono una vera contraddizione colla maggioranza dei fatti, da cui risultano le medie. Tali eccezioni ci fanno già sospettare, che lo strato di idratazione, non dipenda tanto dalla natura delle rocce, quanto dalle circostanze della loro protrusione; sicchè la stessa lava potrebbe essere indifferentemente anidra o idrata, secondo le condizioni in cui trovossi, nell'atto che veniva spinta all'esterno. Siccome poi trattasi di rocce, in genere, sicuramente subaeree; la loro ordinaria *anidrità* si può attribuire, molto probabilmente, alla circostanza d'essere state protruse piuttosto sotto il libero cielo, che nelle profondità del mare. Le eccezioni poi, cioè le *massime* di idratazione così forti per alcune, si spiegherebbero colla loro protrusione, in via eccezionale, sotto il mare, o, assai più probabilmente, per un lavoro di idratazione posteriore.

152. Nel secondo gruppo l'idratazione è assai più sensibile e costante. Anche le *minime* si tengono assai alte, e le *massime* sono, in genere, altissime. Noi vi troviamo raccolte le rocce vulcaniche più antiche; sieniti, dioriti, porfidi, melafiri, grünstein, rocce che si presentano ordinariamente nelle condizioni delle lave sottomarine. La loro abbondante idratazione si può dunque in genere attribuire alla accennata circostanza di protrusione. In parecchi casi è probabile che esse rocce siano apparse come lave subaeree; ma furon poi sommerse, coperte da strati sedimentari, poste quindi nelle condizioni di subire una idratazione posteriore, dovuta sopratutto alla formazione

Digitized by Google

delle zeoliti, entro le cavità bollose. Anche in questo gruppo però si presentano delle eccezioni, corrispondenti a quelle osservate nel primo. Come fra le altre rocce anidre si presentano delle varietà idrate; così fra le idrate compajono varietà anidre. Abbiamo infatti parecchie *minime*, veramente eccezionali, a 0,00. Ma si badi che tali eccezioni sono presentate principalmente dalle rocce basaltiche, le quali, se in genere si presentano nelle condizioni di lave sottomarine, talvolta furono certamente eruttate da vulcani subaerei.

153. Ma, ripeto, non si possono esigere risultati brillanti, da una tabella che accoglie, senza distinzione, rocce dello stesso nome, le quali possono essersi trovate in condizioni affatto differenti le une dalle altre. Studiando invece i particolari, cioè riducendoci alla analisi comparativa delle rocce, le cui condizioni sono abbastanza note; vedremo come certi principî sgorgano più netti, più decisi, si risolvano le difficoltà e spariscano le contraddizioni.

I principî che noi crediamo di poter stabilire sono questi:

1.° Bisogna distinguere due specie di idratazione. Una *idratazione originaria* dovuta all'immancabile presenza dell'acqua nelle lave, in qualunque condizione vengano esse protruse; una *idratazione acquisita*, dovuta ad una immissione di acqua, la quale, posteriormente alla protrusione delle lave, o si unisce chimicamente ai minerali costituenti le lave, o si introduce nelle cavità dei minerali idrati. Dei processi di questa duplice idratazione ci occuperemo a lungo più tardi. Ci basti intanto di affermarne l'esistenza, in base ai moltissimi fatti citati in questo e nei precedenti volumi.

2.° L'*idratazione originaria* si mantiene nelle lave sottomarine, ove si verifica una pressione sufficiente ad impedire lo svolgimento dei vapori; mentre si diminuisce o si annulla nelle lave subaeree, d'onde i vapori possono sprigionarsi liberamente.

3.° L'*idratazione acquisita* si verificherà più facilmente nelle lave sottomarine, o in quelle che vengono posteriormente sommerse o sepolte sotto gli strati, a considerevoli profondità, ove le acque circolanti acquistano una attività chimica assai potente. Sarà invece più difficile nelle lave che si tengono sulla superficie asciutta.

4.° Le rocce anidre saranno dunque a preferenza lave *subaeree*, e le idrate *sottomarine*.

I principî esposti sono affermati dalla gran maggioranza dei fatti.

154. Cominciamo da quelli che riflettono il *gruppo delle anidre*. Le *andesiti augitiche* figurano alla testa delle rocce anidre. Delle 6 analizzate, una sola contiene acqua. Sono esse anche per eccellenza lave recenti, e lave subaeree, essendo tolte dall'Hekla e da altri vulcani d'Islanda, da Teneriffa, dalla Val-del-Bove sull'Etna, e dal Chimborazo, a 17,916 piedi di elevazione (Zirkel, *Lehrb.* pag. 223.) Seguono le *obsidiane* dell'Ararat, d'Islanda, di Teneriffa, di Lipari, di Procida, dell'Ascensione, vulcani subaerei. Tutti sanno che le obsidiane compajono quasi invariabilmente alla superficie delle lave, costituiscono cioè la porzione più subaerea delle correnti subaeree, come lo attestano Spallanzani, Darwin, Zirkel, Fritsch e Reiss, ecc. I *leucitofiri* analizzati sono quasi tutti lave vesuviane; quindi assolutamente subaeree. Ma a proposito delle lave vesuviane abbiamo qualche cosa di più concludente. Il prof. Fuchs sta pubblicando le analisi di una serie cronologica delle lave vesuviane, cominciando dalle eruzioni del secolo XI, e venendo fino a quelle dei nostri giorni. Delle 12 lave eruttate tra il 1038 e il 1794 di cui finora sono pubblicate le analisi (*Neues Jahrbuch*, 1866, pag. 667 e 1868, pag. 553), quattro soltanto contengono acqua in proporzioni da 0,001 a 0,34. E son tutte, ripeto lave, subaeree.

Le *trachiti a sanidino* (feldspato vitreo) e oligoclasio, appartengono al Siebengobirge, e ai Colli Euganei; a vulcani che hanno l'aria di essere stati insulari, a lave quindi piuttosto subaeree che sottomarine. Un'unica specie, fra le analizzate, è indubbiamente subaerea, appartenendo all'Eifel; e questa appunto è anidra.

Le *andesiti orneblendiche quarzifere*, sono lave recenti, quasi certamente subaeree, dell'Ararat, del Kasbek, ecc. Quella, eminentemente subaerea, che forma la cima dell'Ararat, non contiene che 0,65 di acqua.

Le *lave basaltiche* sono lave eruttate dagli attuali vulcani subaerei. Non si distinguono dai basalti, che per essere anidre o quasi anidre. Sono infatti assolutamente anidre, come certamente subaeree, la lava doleritica dell'Etna (eruzione del 1865); una lava pur doleritica d'Islanda; un'altra di San Miguel (eruzione del 1652); una lava anamesitica del pavimento del cratere dello Stromboli; una lava basaltica di Teneriffa. La lava basaltica del Puy-de-Colière ne contiene 0,12 per 100. La sola che sia ricca d'acqua, è una lava basaltica del vulcano Taugkuban Prau a Giava, la cui tenuta d'acqua, relativamente enorme, del 3,93 per 100, servì ad elevare illusoriamente la *media* d'idratazione di lave che sono e devono essere *anidre* per eccellenza, perchè per eccellenza subaeree. Forse trattavasi di una lava in decomposizione, o di una lava amigdaloide.

Le *trachiti quarzifere* o *lipariti* sono anch'esse lave recenti, appartenenti in genere a vulcani subaerei (Irlanda, Isole Ponza e Palmarola, Colli Euganei). Nelle stesse condizioni si trovano, presso a poco, le *andesiti orneblendiche non quarzifere* del Kamschatka, di Giava, del Siebengebirge, e le *trachiti sanidino*.

155. Ecco adunque come le lave trachitiche, leucitiche, augitiche, le lave degli attuali vulcani, le lave subaeree, sono lave *anidre* in senso assai più letterale e assoluto di quello che ci dovessimo aspettare. Direi che il vero stato di idratazione delle lave in discorso è espresso dalle *minime*, essendo le *massime* assolutamente eccezionali, e quindi le *medie* illusorie. Osserviamo, per esempio, le *pomici* che pur sono rocce trachitiche, e la cui origine dev'essere essenzialmente subaerea. I vulcanisti le considerano, e a tutto diritto, come scorie di obsidiane; rappresentano quindi le porzioni più subaeree di lave subaeree Eppure voi le vedete figurare tra le rocce più idrate. Perchè?... Qui c'è un qualche cosa di così contradditorio, che esige una spiegazione, ma che è appunto troppo contradditorio, troppo eccezionale, per infermare la regola, pel grande adagio che *chi prova troppo*, *prova niente*. Le pomici recentissime talora sono prive d'acqua affatto, come quelle della Guadalupa; altre ne contengono da 0,53 a 3,84 per 100, quelle, per esempio, di Lipari, di Santorino, del Somma, di Teneriffa, del Laacher-See nell'Eifel. Ma ne abbiamo di provenienti dall'Eifel, le quali presentano la cifra strepitosa del 15,06 per 100 Ma queste stesse enormi differenze, rendendo affatto illusoria la *media* di 3,71 per 100, ci dicono per certo che, non ad una idratazione originaria, ma a posteriore imbibimento si deve l'idratrazione di quei prodotti subaerei, superficialissimi, estremamente porosi, ove l'acqua penetra liberamente, quasi entro un sistema di caverne, e può liberamente trasformare, deporre, combinarsi. Lo stesso Zirkel, colpito dall'abbondanza d'acqua della pomice dell'Eifel, che ne contiene il 15,06 per 100, si fa coscienza di avvertirci che essa fu trovata assai lontana dalla sua origine. Così avesse fatto, o potuto fare, per le altre varietà di *rocce anidre*, che si presentano eccezionalmente idrate; e così si persuadessero i chimici-geologi, prima di analizzare una roccia, a raccoglierne tutti i dati di giacitura, per rapporto ai quali soltanto l'analisi chimica può avere un'importanza geologica. Ne abbiamo un altro esempio nelle *perliti*, le quali si presentano

tra le rocce idrate, mentre hanno tanta affinità colle obsidiane. Ma io trovo che le perliti idrate, come quelle di Schemnitz e dei Colli Euganei, benchè subaeree in origine, divennero, con tutta probabilità, subacquee, o furono coperte da strati sedimentari; mentre quella notata da Zirckel, che è certamente subaerea, appartenendo ad una corrente di obsidiana di un vulcano d'Islanda, è affatto anidra.

156. Ma l'eccezione, che veramente colpisce, è quella offerta dalle *retiniti*. Anch'esse sono considerate come molto affini alle *obsidiane*, di cui presentano, più o men bene, i caratteri esterni. Ora come mai queste due specie di rocce stanno precisamente agli estremi opposti sulla scala della idratazione, essendo rappresentate dalle *obsidiane* le rocce più anidre, e dalle *retiniti* le rocce più idrate? Dirò anzi che le *retiniti* formano un gruppo a sè, che direbbesi delle rocce *sopraidrate*, essendoci un salto molto deciso dai melafiri e dalle spiliti, rocce idratissime, alle retiniti. È una massima logica che le eccezioni, quanto più decise ed esagerate, tanto meno infermano la regola; poichè quanto più la cosa è eccezionale, eccezionale deve essere la causa che la cosa produsse. Io non starò ora a indagarla questa causa, avendo in animo di occuparmi meglio dell'argomento, quando tratterò della vetrificazione naturale delle lave. Intanto però faccio riflettere che le obsidiane sono lave recenti ancora e, in genere, superficiali; mentre le *retiniti* sono, in genere, lave antiche, che furono, come i porfidi da cui dipendono, sommerse, sepolte, soggette a mille rivoluzioni: che le *obsidiane* sono veri vetri, benchè talora più o meno cristalline; mentre le retiniti si risolvono sotto al microscopio, in un vero aggregato di cristalli (Zirkel, *Lehrb.* I, pag. 570): che le *obsidiane* si trovano ordinariamente in correnti; le *retiniti* in dicchi: che nelle retiniti furono sospettate sostanze zeolitiche in gran copia; e che infine vi son tutte le ragioni per ritenere l'idratazione delle *retiniti* come posteriore o acquisita.

157. Ci resta adunque, già purgato dalle più forti eccezioni, un gruppo di rocce, le quali, come sono tutte sensibilmente o normalmente idrate, si trovano anche in condizioni molto somiglianti di giacitura, onde è resa assai probabile l'uguaglianza di origine. Sono rocce le quali, in genere, si presentano senza quel corredo di forme, che sono proprie, come vedemmo, dell'*apparato vulcanico subaereo*. Non, o di rado, bollosità, scorie, lapilli, ceneri, tufi, ecc Hanno quindi i caratteri delle lave sottomarine. Non si trovano costituire i vulcani attuali subaerei; e se una volta furono lave subaeree, furono poi sommerse, sepolte, coperte da enormi formazioni sedimentari, e quindi furono idratate posteriormente alla loro formazione, e dejezione; fatto che diviene evidentissimo, quando si considera che questo gruppo contiene tutte, si può dire, le rocce amigdaloidi.

158. I *porfidi quarziferi* e le *sieniti* hanno tutti i caratteri delle rocce granitiche, che offrono, per ogni verso, il tipo delle lave sottomarine. Lo stesso dicasi delle *dioriti* le quali, principalmente nelle Alpi, si presentano nelle condizioni e colla fisionomia perfetta delle rocce granitiche; dicasi dei *porfidi non quarziferi*, i quali sono in genere certamente sottomarini, benchè l'abbondanza dei detriti, e dei tufi porfirici, faccia sospettare delle eruzioni subaeree, i cui prodotti però vennero in seguito sommersi e sepolti sotto gli strati sedimentari.

159. Quanto alle *fonoliti* esse appartengono alle rocce trachitiche; ma di quelle di cui Zirkel ci porge l'analisi, nessuna può ritenersi, con certezza subaerea. Se tuttavia io guardo le analisi delle rocce trachitiche delle Canarie riportate da Fritsch e Reiss (*Geol. Beschreib. d. Ins. Teneriffe*, pag. 337) in numero di 14, trovo che per la maggior parte quelle roccie sono anidre, o pochissimo idrate. Fra le anidre figurano cin-

Digitized by Google

que varietà di fonoliti, o fonoliti porfiroidi, o fonoliti andesitiche, per cui conchiudo che quando le *fonoliti* sono subacree, sono anch'esse anidre.

Le *doleriti*, le *anamesiti*, i *basalti* hanno in genere la forma di espandimenti sottomarini. Quando presentano quelle delle correnti subacree, son dette lave basaltiche, e sono anidre. Osservando però le analisi riportate da Zirkel, trovo che le *doleriti*, finchè siamo a quelle dei Colli Euganei, delle Faeröe, e d'altre località di vulcani assai probabilmente sottomarini, sono sensibilmente idrate. Ma quelle dell'Eifel, certamente, e quelle d'Islanda, assai probabilmente, subacree, non contengono acqua nè punto, nè poco. Lo stesso dicasi delle *anamesiti* di Staffa, d'Irlanda, delle Faeröe, che sono certamente sottomarine, e quindi idrate. Quelle al contrario d'Islanda, assai probabilmente subaeree, sono affatto prive d'acqua, o non ne contengono che l'1,00 per 100.

160. De'*grünstein* e de'*melafiri* ripeto quanto ho detto dei porfidi. Osservo però che le varietà più idrate di melafiri, quelle che contengono da 2,96 a 6,35 di acqua, sono amigdaloidi. Le *spiliti* poi, che presentano quasi il più alto grado di idratazione, si possono ritenere come varietà di melafiri, e si presentano esse pure principalmente come amigdaloidi.

161. Dopo la rassegna dei fatti, dai quali risulta evidentemente dimostrato, che le rocce cristalline sono anidre, piuttosto che idrate, secondo che presentano le condizioni e i caratteri delle lave subaeree, piuttosto che delle sottomarine, bisogna confessare che vi è un fatto che getta un'ombra di dubbio sopra una teorica, che altrimenti riposerebbe sopra basi ineccepibili. Parlo del debole stato di idratazione dei graniti. Se la loro struttura, il loro giacimento, l'assenza di tutte le accidentalità che si verificano per le lave subaeree o poco profondamente sottomarine, ne fanno il tipo delle lave sottomarine; dovrebbero anche presentare il massimo grado di idratazione. Invece essi si pongono tra le obsidiane e i leucitofiri, quasi alla testa delle rocce anidre. È singolare che, mentre le vecchie teoriche incontrarono una insormontabile difficoltà nel fatto che i graniti contengono acqua, ora la difficoltà si vegga sorgere da ciò che ne contengono troppo poco.

162. Ad ogni modo le vecchie teoriche non sono salve. I *plutonisti*, che vedevano nel granito un prodotto di fusione ignea, dovranno ancora spiegarci come i graniti siano idrati; i *nettunisti*, che li sostengono originati da sedimentazione acquea, dovranno dirci perchè i graniti siano così debolmente idrati.

163. Forse ebbe qui luogo un fenomeno di disidratazione. Io sospetto anche che i graniti, rocce compatte, senza bollosità, si prestarono meno delle altre rocce ad una idratazione conseguente, alla quale, abbiamo visto, doversi attribuire i maggiori gradi di idratazione presentate dalle altre rocce cristalline. Comunque sia la cosa, non si può negare ciò che risulta dal complesso dei fatti i più accertati, i più decisivi. Le ipotesi circa l'origine dei graniti, che vider la luce fin qui, o sono assurde, cioè contradette dai fatti, o sono infondate. La teorica nostra, invece, trova nel complesso de' fatti il più sicuro appoggio. Noi sosteniamo che i graniti sono lave, perchè delle lave hanno la struttura e la composizione; perchè si trovano ad ogni passo in dicchi e filoni; perchè hanno, come le lave, metamorfosate le rocce a contatto; perchè hanno quel corredo, che noi abbiamo espresso col nome di metamorfismo perimetrico. Sono lave eminentemente sottomarine, perchè non presentano nè scorie, nè tufi, perchè non sono bollose; perchè non sono amigdaloidi. Nè manca il carattere della idratazione, benchè il debole grado di essa sia un fatto che rimane ancora inesplicato.

164. La teoria da me esposta non è nuova. È quella emessa, benchè dubbiamente,

Digitized by Google

da Scrope, il quale non seppe decidersi ad abbracciare l'idea delle eruzioni sottomarine, che si vede dal seguente passo essergli balenata alla mente.

« Il est vrai que M. Delesse (qui est le partisan le plus avancé de la plasticité aqueuse *du granit et des roches cristallines*) déclare que les laves volcaniques sont anydres, c'est-à-dire *comparativement* dépourvues d'eau. Mais c'est justement ce que nous devrions nous attendre en conséquence de ce que ces roches ont perdu leur eau dans les éruptions ou les exhalations plus tranquilles de vapeur qui ont eu lieu lors de leur communication libre avec l'atmosphère. Les granits, au contraire, et les trapps anciens, n'ont pas, selon toute probabilité, atteint l'air dans un état de liquefaction, mains ont été, dans cet état, forcés ontre les couches suprajacentes, peut-être à de grandes profondeurs sons la mer, certainement sous des pressions énormes; ce qui fait qu'ils retiennent encore leur véhicule fluide (*Les volcans*, pag. 118). »
Vedremo come altrove ammette altre idee molto contraddicenti a quelle espresse qui.

165. Chinderò questo capitolo, col quale intesi, in via generale, a spiegare, non l'origine, ma la permanenza dell'acqua originaria delle lave, in dose maggiore e minore, come un effetto della pressione maggiore o minore, gradnata, partendo dalle profondità sottomarine, e arrivando alla superficie subaerea, col riferire alcune idee di Lecoq, le quali si basano appunto sulla differenza nel grado di idratazione delle rocce cristalline. Secondo l'illustre professore di Clermont, che attribuisce una parte primaria alle acque nella formazione delle rocce, l'azione stessa delle acque si sarebbe diminuita, mano mano che lo spessore della crosta del globo, in continuo aumento, lor rendeva più difficile l'accesso nelle profondità terrestri: *in effetto*, dice egli, *quasi tutte le rocce contengono acqua, dal granito al basalte*; *mentre le lave moderne sono le sole che non ne contengono* (*Les eaux minérales*, pag. 2). È singolare che l'autore nel corso dell'opera riconosce l'enorme abbondanza del vapore acqueo, che di continuo si svolge dai vulcani, e dà tutta l'importanza alle esperienze di Daubrée, dalle quali risulta la facilità con cui l'acqua può penetrare attraverso la crosta solida del globo, fino alle ime profondità. Se si vuol sostenere ad ogni modo che le acque penetrano ora più difficilmente, per cui le lave moderne non ne contengono, (il che è pure inesatto, contenendone anche le lave più moderne come è detto al § 149) cadremmo nell'assurdo di coloro che la temperatura tropicale delle regioni fredde e temperate, nelle epoche passate, compresa la terziaria, attribuirono all'azione del calore centrale, operante o per eflusso immediato, come è opinione divulgantissima fra i geologi, o per mezzo delle sorgenti termali, portate alla superficie della terra, secondo la nuovissima opinione di Lecoq (*Op. cit.* pag. 28). Se i basalti, che eruppero in tanta copia durante l'epoca terziaria, sono idrati; perchè nol sarebbero, ammesse le idee di Lecoq, le lave quaternarie e le odierne? Se le acque potevano porsi in facile contatto colle lave interne, in modo da renderle idrate, quando la crosta del globo aveva acquistato uno spessore di 26, 30, 32 chilometri, cioè durante le epoche paleozoica, mesozoica, cenozoica, bastò un chilometro di più, perchè la circolazione delle acque venisse difficoltata al punto che le lave sortissero anidre? Avvertasi che io piglio per spessore della crosta terrestre, lo spessore delle rocce sedimentari (*Parte seconda*, § 1032), il quale scambio se non vale in via assoluta, vale al certo in via proporzionale.

Del resto ciascuno intende di leggieri come l'attribuire un cambiamento sensibile di clima, per esempio il passaggio del clima subtropicale miocenico al glaciale, e una sensibile variazione nella attività interna del globo tale, che ne escano lave idrate nell'epoca terziaria, e anidre nell'attuale, l'attribuire dico mutamenti così radicali ad

Digitized by Google

una pellicola che si sovrapponga alla crosta terrestre, è cosa veramente che non si sa digerire.

166. La spiegazione per noi ammessa è invece semplicissima, e in pieno accordo coi fatti. Noi insistiamo a conchiudere che in tutti i tempi si poterono avere, e forse si ebbero lave idrate e lave anidre, bastando per ciò che si avessero lave sottomarine e lave subaeree. Se idrate sono a preferenza le lave antiche, e anidre le moderne od attuali, è perchè, entro le aree degli attuali continenti le lave antiche furono a preferenza sottomarine, e le lave moderne ed attuali, a preferenza subaeree; perchè, stringendo tutto in un solo verace e semplicissimo concetto, ciò che ora chiamiamo terra era mare, e ciò che ora chiamiamo mare era terra.

Digitized by Google

VII. Si propugna la definitiva abolizione della divisione delle rocce cristalline in vulcaniche e plutoniche.

Proposta, 167. — *Incertezze degli autori*, 168. — *Si combattono le idee di Lyell circa l'origine dei graniti*, 169. — *Fatti generali contraddicenti a quelle idee*, 170. — *Fatti particolari*, 171. — *Confessioni di Delesse*, 172. — *Incertezze di Naumann*, 173. — *Le rocce plutoniche secondo Serope*, 174. — *Ammissibili in via d'eccezione*, 175. — *Fatti contrarî*, 176. — *Anch' egli cade nel contraddittorio*, 177. — *Identifica, mentre distingue*, 178. — *Idee di Delesse*, 179. — *Distingue le rocce in base al metamorfismo*, 180. — *In base all'idratazione*, 181. — *Richiamo dell'identità del metamorfismo perimetrico*, 182. — *Prodotti di idratazione conseguente*, 183. — *Riassunto dei fenomeni metamorfici secondo le idee di Delesse*, 184. — *Riflessi sulle eccezionalità dei graniti*, 185. — *Falso valore accordato alla idratazione del granito*, 186. — *I plutonisti e i nettunisti divisi per un equivoco*, 187. — *Perchè si combattono?* 188 — *Si combattono su false basi*, 189. — *Conciliazione tra le due scuole*, 190. — *Principî di una nuova scuola*, 191.

167. Qui siamo al punto di voler dimenticata interamente la classica distinzione di *rocce vulcaniche* e *rocce plutoniche*. Il predicato di *plutonico* è uno di quei termini convenzionali, che vanno, finchè gli uomini hanno bisogno di discorrere, ma non trovano modo di intendersi. Finchè si dice *vulcanico*, tutto il mondo sa di che si parla; ma queste parole di *plutonico*, *plutonismo*, *plutonisti*, e altre dello stesso conio, sono parole pei geologi, i quali si intendono in tanto in quanto. Se è vero che tutti i caratteri, per cui si volevano separare dalle lave certe rocce, specialmente le granitiche, non sono che accidentalità, dipendenti dall'essere le lave protruse sotto il mare, piuttosto che sotto la libera atmosfera; io propongo che, alla distinzione generalmente ricevuta di *rocce vulcaniche e di rocce plutoniche*, si sostituisca quella di *rocce vulcaniche subaeree*, e di *rocce vulcaniche sottomarine*; ben inteso che i due gruppi si legano, e si fondono, per una serie di indefinite transizioni, graduate se-

condo i gradi di pressione a cui possono essere state, nel caso pratico, le une e le altre sottomesse.

168. Abbiamo veduto come gli autori, che vollero recentemente distinguere *rocce vulcaniche* da rocce plutoniche, finirono a perdersi nel vago e nell'indeterminato. Nè può credersi che non si accorgessero di basare le loro distinzioni sopra accidenti, e sopra gradazioni di accidenti, senza mai fissare una linea di demarcazione appena decisa, mentre pur finiscono a identificare, ciò che volevano distinguere. Il concetto della diversità di condizioni, e sopratutto della pressione graduata, a cui sono sottomesse le lave eruttate tra le massime profondità sottomarine e la superficie subaerea, se non ci permette nemmen esso di tracciare una linea di demarcazione, che è anzi negata *a priori* dal concetto stesso, ci toglie però dal vago e dall' indeterminato, affermando, per tutte le rocce cristalline composte, l'identità d'origine, e per ciascuna spiegando le diversità nel modo di presentarsi.

Mi si perdoni se io ritorno sul campo già trito. Ma l'argomento è troppo importante, perchè ci possiamo dispensare dal presentare in piena luce, ciò che appena traspare nei capitoli precedenti.

169. Vedemmo Lyell inteso a stabilire, per distinguere le rocce *vulcaniche* dalle *plutoniche*, dei criterî, di cui abbiamo dimostrato l'incertezza e la fallacia (§ 80). Gli stessi criterî, cioè l'assenza di brecce, di tufi, di cavità cellulari, ossia di bolle, applicati, caso per caso, a distinguere le lave subaeree, dalle lave più o meno profondamente sottomarine, si presteranno per bene all'ufficio, che è il loro, e si vedrà che non rimane il bisogno di ricorrere a certe ipotesi, per spiegare l' origine e i caratteri dei graniti.

Dai caratteri che Lyell assegna alle rocce plutoniche, per distinguerle dalle vulcaniche, esso deduce che i graniti (credo voglia dire le rocce plutoniche in genere) formaronsi a *grandi profondità nella terra*, e vi si raffreddarono, e cristallizzarono lentamente, sotto una pressione che non permise ai gas di sfuggire. Non si sarebbero trovate nelle stesse condizioni, se espanse a *grande profondità sotto il mare?* E allora quale differenza ci sarebbe tra il granito e una lava qualunque, che si espande oggi sul fondo dell'Oceano Pacifico? Si vede chiaramente come Lyell stesso si accorge, che la distinzione tra le rocce plutoniche e le rocce vulcaniche, come egli l'intende, è qualche cosa di puramente convenzionale. Si mediti infatti il seguente periodo: « L'allievo geologo comprenderà facilmente, che l'influenza del calore debba continuare a stendersi, a partire dal focolare di ogni cratere in attività, fino alla distanza, che può essere di parecchi chilometri; gli sarà anche facile di stimare fino a qual punto dovranno essere differenti gli effetti che, sotto tale influenza, si produrranno nelle viscere della terra; ei potrà senza fatica farsi un'idea della maniera colla quale, le rocce vulcaniche e plutoniche, benchè dissimili per tessitura, *e talvolta di composizione, si formeranno simultaneamente, le une alla superficie, le altre a grandi profondità* (Lyell, *Manuel*, II, pag. 379). » Intendo come tutte queste belle cose possano capirsi assai meglio da un allievo, che da un geologo provetto. Nel linguaggio della cattedra le parole *chiaro, evidente*, che si *intende senza fatica*, devono spesso intendersi sostituite a quelle di *oscuro, indimostrabile*, ecc. L'autore vuole qui esprimere in fine una sua opinione, e come tale, per vero dire, è espressa chiaramente, nei termini più espliciti. Le rocce plutoniche e le rocce vulcaniche hanno la stessa origine sotterranea, spesso la stessa composizione; le une e le altre sono lave, ma con questa differenza, che le rocce vulcaniche, sono lave della superficie, le plutoniche sono lave del fondo. È la distinzione che si può stabilire tra le lave componenti i dic-

Digitized by Google

chi vulcanici e le lave che formano lo esterne correnti, o si può stabilire tra le lave delle correnti e le scorie, i lapilli e le ceneri. Diversità di circostanze, unità di origine e di composizione. Solo vorrei dimandare a Lyell, che valga il criterio stabilito sull'assenza delle breccie, e dei tufi granitici. Intanto che si formavano i graniti del fondo, quali erano le lave della superficie? Dovevano dunque prodursi graniti nell'interno, e rocce porfiriche o anfiboliche al di fuori? O producendosi lave granitiche alla superficie, perchè non si convertivano in scorie, lapilli e ceneri granitiche? Infine con questa teorica tutto rimane inesplicato. Posto invece che i graniti siano lave, non trovo altra difficoltà, che quella di spiegare, perchè non si produssero scorie, ceneri, lapilli, ecc. A questa abbiamo già risposto esuberantemente. Scorie, ceneri, lapilli granitici non si troveranno mai finchè non si trovino dei graniti di cui si possa dimostrare l'eruzione subaerea. E forse ve ne fu taluna, poichè Lecoq osservò sull'altipiano detto *Palais du Roi*, nel dipartimento della Lozère, un' *arkose* a grani di quarzo, roccia cavernosa, *vera schiuma di granito*, come egli la chiama, che passa insensibilmente al granito, e che potrebbe essere un granito scorificato (*Les époques géol. de l'Auvergne*, I, pag. 465).

170. Del resto lo stesso Lyell finisce più tardi a concedere, anzi a dimostrare, come la differenza tra le rocce vulcaniche, e le dette plutoniche, non è che accidentale; come ogni roccia plutonica può divenire una lava, e ogni lava una roccia plutonica, in guisa che le prime si confondono, si identificano colle seconde. È decisamente in questo senso che egli definisce la questione. Le rocce plutoniche sono le vulcaniche, rimaste nell'interno, sotto grandi pressioni; le rocce vulcaniche sono le plutoniche, riversate all'esterno. — I fatti sono quelli stessi sui quali ci siamo già basati, per sostenere l'origine vulcanica di tutte le rocce cristalline, composte.

Tutte le varietà di granito (granito, sienite, protogino, eurite, ecc) passano a certe specie di trapp. I prodotti vulcanici terrosi vestono, a suo tempo, le forme di un porfiro; e i porfiri sono talora cristallini in guisa, da passare ad una specie di granito. Tra i porfiri e i graniti c'è tutta l'analogia mineralogica. Infatti, direm noi, c'è egli una differenza essenziale tra il porfido amfibolico di Leffe e le sieniti delle Alpi? tra il porfido quarzifero di Val-Ganna, e il granito roseo di Baveno?

Gli stessi elementi compongono le rocce vulcaniche e le plutoniche: selce, allumina, magnesia, calce, soda, potassa, ferro.

Una identica lava presenta una struttura talvolta vitrea, talvolta scoriacea, o compatta, o porfiroide, ecc. Certe trachiti, o *greenstones*, sienitiche, avrebbero prodotto, in circostanze opportune, graniti e sieniti. L'unica ragione con cui Lyell tenta spiegare la diversa struttura di rocce mineralogicamente identiche, è la lentezza, e la rapidità del raffreddamento, quindi della cristallizzazione, attribuita al raffreddamento. Noi combattemmo e combatteremo l'idea, che al raffreddamento debbasi la cristallizzazione delle rocce vulcaniche (*Parte prima* § 826-829). Ma non possiamo dubitare che la diversità della tessitura delle rocce vulcaniche non sia che accidentale, e che sia dipendente da cause diverse da quelle stesse cause, per cui un medesimo vulcano, e talvolta la medesima eruzione, offrono tanta varietà di prodotti.

171. Dai fatti generali passa agli esempî particolari. Noi li riportiamo come un'aggiunta a quelli che abbiamo riferiti o discussi nei *Capitoli* precedenti.

Sulla costa occidentale del Fiord di Cristiania, in Norvegia, osservasi una larga estensione di eurite (*greenstone*) porfirica e sienitica, sopra rocce fossilifere, cui succede lateralmente, sopra estensione più larga, la sienite, con sì graduato passaggio, che è impossibile fissare i limiti ove terminano le rocce vulcaniche, e la plutonica incomincia.

Mac-Culloch osservò come nel granito ordinario di Aberdeen, al mica, si sostituisce talvolta l'orneblenda; altre volte esso granito si riduce ad una miscela di solo feldspato e orneblenda, e tale miscela, rendendosi più fine, diviene un greenstone, che passa gradatamente al basalte, e finisce in una argillolite fissile. Lo stesso osservatore verificò, come il granito delle Shetland, composto di quarzo, feldspato, mica e orneblenda, passa, con gradazioni insensibili, al basalte.

Certe moderne trachiti di Ungheria contengono sovente mica, quarzo, feldspato, orneblenda.

I dicchi vulcanici, sono affatto analoghi alle vene granitiche, e si verificano gli stessi casi di metamorfismo delle rocce a contatto, per queste, come per quelli. Nel Glen Tilt (Scozia) Mac-Culloch (*Geol. Trans.* I.ª serie, vol. III) osservò come, a contatto colle vene granitiche, che si insinuano nel calcare, questo ha acquistato una struttura quasi di petroselce (*hornstone*) e fa poca effervescenza cogli acidi. Altrove, nello stesso distretto, la massa de' calcari e degli schisti è come reticulata di vene granitiche, che divengono mano mano esilissime. Frammenti di granito sono impigliati nel calcare, e frammenti di calcare nel granito. Il calcare ha preso, in vicinanza delle vene, la forma del petroselce, e gli schisti associati passano sovente allo schisto amfibolico.

Talvolta sono due, tre graniti diversi che si intrecciano in un sistema di vene.

172. Coi fatti riportati da Lyell, e colle idee da lui espresse, convengono i fatti riportati, e le idee espresse da Delesse. Anch'egli osserva che la trachite presenta presso a poco gli elementi del granito, e i trapp quelli della diorite; e così, dice Delesse, ogni roccia vulcanica trova la sua roccia plutonica corrispondente. La cosa è a tal punto, che lo stesso Delesse esprime l'opinione che i graniti e le dioriti non siano che trachiti o trapp metamorfizzati; e il predominio delle rocce *vulcaniche* nei terreni recenti, e delle *plutoniche* negli antichi, ripete da quel metamorfismo, che da sì lungo tempo su queste, e da sì breve si esercita su quelle (*Études sur le metamorphisme des roches*, pag. 26, 27).

173. Gli altri autori che trattarono l'argomento nel senso di Lyell, si trovarono, come lui, alle prese coll'indeterminato. Come distingue Naumann le formazioni plutoniche dalle vulcaniche? Le plutoniche sono *formazioni eruttive*, formate senza la cooperazione (*Mitwirkung*) di un *vero vulcano*. Le vulcaniche sono *formazioni eruttive* sempre, o almeno in alcuni casi, formate colla cooperazione di un *vero vulcano* (*Lehrb.*, II, pag. 63). Resta a vedersi che s'intenda per *vero vulcano*, poi a domandarsi se, quando non coopera un vero vulcano, le rocce vulcaniche non siano più vulcaniche. Ma non facendo questione di parole, ciascuno sentirà di leggieri la nullità di quelle definizioni, e delle distinzioni che vi si appoggiano. Forse se la parola *Mitwirkung* si potesse tradurre per *azione contemporanea*, e per *vero vulcano* si volesse intendere un vulcano nella pienezza delle sue brillanti manifestazioni, in fine un vulcano subaereo; allora ei potremmo avvicinare al Naumann, cambiando i nomi di formazioni o rocce *plutoniche* e *vulcaniche* in quelli di *lave sottomarine* e *lave subaeree*. Infatti nella categoria delle rocce plutoniche Naumann inscrive le rocce a caratteri sottomarini, i graniti, le dioriti, i porfidi, ecc.; e in quella delle rocce vulcaniche quelle che presentano sempre, o in alcuni casi, i caratteri subaerei; le trachiti, i basalti, le lave, coi rispettivi tufi, conglomerati, ecc.

174. Abbiamo testè accennato come lo Scrope anch'egli non volle liberarsi interamente dalle idee, o almeno dai termini, della vecchia scuola, e come, dopo avere, si può dire, primo e unico, rimarcata l'importanza, nei rapporti geologici, della di-

stinzione tra eruzioni subaeree e eruzioni sottomarine; non seppe trarre tutto il partito che poteva, e finisce, in alcuni termini, a convenire colla scuola di cui è il più valoroso oppositore.

Anch' egli distingue le rocce vulcaniche dalle plutoniche. Queste, per esempio i graniti, le sieniti, sono rocce d'origine interna, che non mai eruppero all'esterno, nè come lave subaeree, nè come lave sottomarine. Nel sistema di Scrope, in cui le rocce vulcaniche si sarebbero aperta la via alla base dei grandi rilievi, seguendo la spezzatura di una anticlinale; le rocce plutoniche si sarebbero semplicemente intruse nel vano delle anticlinali. Così di rocce plutoniche constano le linee o zone assiali delle grandi catene. Come poi siano tali rocce venute realmente alla luce, Scrope nol dice precisamente, ma sembra dare una certa importanza alla denudazione (*Les volcans*, Cap. XII, pag. 282) poi (non fa bisogno nemmeno di accennarlo) i sollevamenti e le dislocazioni, portate dalle oscillazioni della crosta del globo, avrebbero messe in luce le masse granitiche, già solidificate.

175. Quanto a me non posso punto dubitare che molte masse granitiche, le quali occupano in oggi il massimo rilievo di una anticlinale, non siano emerse a loro tempo dalla crosta del globo allo stato lavico, e siansi mostrate poi a nudo, per effetto del sollevamento, cioè di grandi dislocazioni o di grandi erosioni. Proveremo anzi più tardi come la forma geologica delle grandi masse di granito, di porfido, ecc. sia quella di un espandimento; di un espandimento avvenuto precisamente sul fondo marino e interstratificato agli strati sedimentari che lo sopportano, o lo coprono, sollevato più tardi con essi, non altrimenti che qualunque espandimento di basalte o di lava recente. Parlandosi invece di dicchi, non è nè impossibile, nè improbabile che alcuno di essi si arresti talora nell'interno della crosta del globo. Però la probabilità di arrestarsi e di solidificarsi nell'interno sarà certamente in ragione inversa della potenza della massa lavica, che tende a espandersi al diffuori. Si intende come una piccola vena si injetti, si solidifichi e si arresti in una crepatura, la quale si perde nell'interno della massa sovrincombente, senza aprire nessuna via di communicazione tra l'interno e l'esterno del globo. Ma si intende già più difficilmente come nell'interno abbia da arrestarsi un dicco il quale occupi, per esempio, una crepatura di 50 metri di luce, ed abbia quindi già tale spessore, da conservare per lungo tempo o per lungo cammino, la sua fluidità. Riesce finalmente inconcepibile l'arrestarsi in seno alla terra di una massa eruttiva della potenza di chilometri, che dice già per sè stessa spalancati gli abissi; o deve mantenere, per un tempo indefinito, la sua temperatura e, conseguentemente, la sua fluidità. Ritengo in fine, contrariamente allo Scrope, un caso affatto eccezionale quello, in cui una massa erompente, di potenza considerevole, possa arrestarsi nell'interno della crosta terrestre; come ritengo improbabile che masse granitiche, della potenza anche solo di qualche centinajo di metri, si presentino mai sotto forma di dicco.

176. Lo stesso Scrope intanto (*Les volcans*, pag. 286) cita diversi esempî di vere emersioni e di veri travasamenti di masse granitiche. Nella Val-di-Fassa una massa di granito e di sienite copre uno strato fossilifero. La sienite dell'isola Skye è descritta da Geikie come quella che in parte eruppe in masse semisolide, a grani grossi, divaricando gli strati smossi; in parte si espanse in massa a grani più fini e più feldspatici, ricoprendo gli schisti del lias. Vedremo del resto più tardi, come le masse granitiche vadano sempre più nettamente mostrandosi o come dicchi, o come espandimenti interstratificati, non diversamente dai porfidi, dai trapp, dai basalti.

Nè c'è bisogno di supporre altrimenti. Scrope fu condotto a cercare un modo spe-

ciale d'*espulsione*, di *extrusione*, dall'assenza nelle formazioni granitiche di rocce aventi l'aspetto di vera lava, o meglio di certi accidenti delle lave, come quando si presenta il raro fenomeno della fusione vitrea, o quando le lave sono bollose, scoriacee, associate a pomici, a scorie, a ceneri, a lapilli, ecc. Ma tale assenza non dev'essere caratteristica anche delle lave sgorgate nelle grandi profondità sottomarine? Ad ogni modo siamo ancora nell'impaccio in cui ci ha lasciati Lyell, stabilendo tra le roccè vulcaniche e le plutoniche nessuna differenza essenziale. Per Scrope e per Lyell le lave sono rocce plutoniche che eruppero, e le rocce plutoniche sone lave che non eruppero dal seno della terra.

Nè vale a stabilire una distinzione tra le lave e le rocce plutoniche l'indole di queste che (parlando almeno dei graniti) sarebbero state una specie di pasta, diluita nell'acqua, ad alta temperatura, sotto ingente pressione (*Vedi il* § *seguente*), poichè lo stesso Scrope non ci dà altra idea della natura primitiva dello lave eruttate dagli odierni vulcani, nè altra idea infatti parmi possa venire accettata. Anzi il titolo di magma acqueo si conviene molto meglio alle lave de' più moderni vulcani, che ai graniti (§ 149).

177. Infatti per quanto Scrope tenda ancora a tener distinto un plutonismo, a cui si devono i graniti, da un vulcanismo, a cui si debbono le lave; quando è a definire l'origine e la natura, vediamo che adopera termini così identici per gli uni e per le altre, da non lasciarci modo di distinguerli, se non per quelle accidentalità, dovute a certe specialità di condizioni, in cui si formarono i graniti, piuttosto che i trapp o le lave.

« La condizione più antica, dice Scrope, che noi possiamo riconoscere nella materia più profonda che formi la sostanza del globo, è quella di un composto triplo, granitoide, consistente ordinariamente in feldspato, quarzo e mica, in uno strato cristallino o granulare, ma ciò non di meno sovente, se non sempre, molle e semiliquido; il che sembra dovorsi attribuire alla mescolanza meccanica dell'acqua o del vapore acqueo negli interstizî, che tiene in soluzione una quantità maggiore o minore di selce in mezzo a' cristalli (*Les volcans*, pag. 305). » Detto quindi come questo magma interno reagisca entro la crosta del globo, la pigi, la rialzi, finchè, formata una fessura sufficiente, per metterlo in immediata communicazione coll'atmosfera, ribolle con violenza, e dà luogo ad una eruzione vulcanica; senz'altro distinguere i graniti dalle lave, così continua: « La materia minerale, o *lava*, così espulsa, è qualche volta in uno stato di fusione vitrea, ma, più sovente in uno stato di cristallizzazione, più o meno incompleta; e la sua fluidità, benchè sovente imperfetta, è occasionata dalla mobilità impressa ai cristalli dal vapore, o dall'acqua calda degli interstizî (*Ib.*, pag. 307). » Si direbbe dunque che l'idea di Scrope è, che il granito si cambia in lava, nell'atto che è espulso. Ma egli nè dice, nè, io credo, la pensa così. Che il granito espulso possa e debba modificarsi, e, se espulso sotto la libera atmosfera o a certa profondità sottomarina, gonfiarsi, scorificarsi, dar luogo a detriti o di immediata dejezione, e di conseguente demolizione, questa è cosa benissimo intesa. Ma non si cambierà pertanto il granito in trapp, o in leucitofiro. Per spiegare l'assenza di quelle modificazioni non siamo obbligati a supporre di più di quanto sia necessario per impedirle. I leucitofiri, dal pari che i graniti, potrusi a sufficiente profondità sottomarine, presenterebbero ugualmente quei caratteri, per cui si vollero separare i graniti dalle lave più communi.

178. Dove poi Scrope fa, direi, un ultimo sforzo (e lo riserva difatti in *nota* all'ultimo periodo della sua opera) per distinguere ciò che è *vulcanico* da ciò che è

plutonico, non riporta nulla, da cui si possa conchiudere che vi siano rocce *plutoniche* da distinguersi dalle vulcaniche. Il *plutonismo* è per lui il complesso dei fenomeni che si operano nell' interno del globo. La lava, qualunque ne sia la natura, è roccia *plutonica*, finchè non è espulsa; nell'atto che lo è, diventa *vulcanica*. « Questa parola (*volcanique*) esprimerebbe un concetto ben più definito, quando fosse riservata, come l'ho riservata io stesso nel corso di quest' opera, alla vera *azione eruttiva*, e se la parola di forza *plutonica* fosse applicata a quei sollevamenti, a quelle injezioni delle materie sottorranee riscaldate, nelle rocce dislocate; fenomeni la cui esistenza può supporsi anche senza che abbiano luogo e esplosioni estorue di vapori, e eruzioni di lava. È vero che il limite di separazione tra le due specie di azione è difficile tracciarsi; come nel caso dei dicchi, che attestano ad un tempo l'effetto plutonico e l'effetto dell' eruzione, più o meno completa di materie vulcaniche. Ma questo è difetto ordinario di tutte le nomenclature geologiche... L'azione *vulcanica* è dunque, per me, l'azione *esteriore e superficiale*: l'azione plutonica è l'azione *interiore sotterranea*. Ma già si intende che v'avrà sempre un *mezzo termine*, aperto alla discussione; i cui fenomeni avranno un eguale diritto all' una e all'altra denominazione (*Les volcans*, pag. 496). »

Domando io quale criterio ci resta per distinguere, geneticamente, un leucitofiro, da un granito. Entrambe sono rocce concette nell'interno, dunque *plutoniche*. Se poi entrambe furono protruse, divennero entrambe rocce *vulcaniche*. Ora con quali argomenti si provò che i graniti non furono protrusi? con nessuno, nessuno affatto. I graniti hanno tutti i caratteri e di struttura e di giacimento, e di metamorfismo di contatto, che distinguono le lave. Solo si osserva che i graniti, come infinite masse di porfidi, di dioriti, di trapp, non presentano gli accidenti caratteristici della eruzione subaerea. Tra il *superficiale* e il *sotterraneo*, esiste un medio; ed è il *sottomarino*. È questo il *mezzo termine* inteso da Scrope? io nol credo. Ad ogni modo un granito concetto in seno alla terra, attraversante la crosta terrestre, sarà sempre una lava, come un leucitofiro, concetto ugualmente sotterra, e che attraversa ugualmente la crosta terrestre. L'essere queste lave arrestate in seno alla terra, come è appunto il caso dei dicchi, tanto di granito, come di leucitofiro, piuttosto che espanse sul fondo del mare, e eruttate sotto la libera atmosfera, non cambia la natura delle cose. Sono sempre lave che si diranno secondo i casi, *concette*, *injettate*, *espanse*, *eruttate*, ma sempre *lave*. Può egli negarsi che vi siano graniti protrusi all'esterno? Se non abbiam detto abbastanza dei graniti *interstratificati*, lo ripeto, ne diremo ancor più, quando parleremo del loro sollevamento, operato al modo stesso di quello degli strati sedimentari.

179. Abbiamo già riferite alcune idee di Delesse (§ 172) molto favorevoli al nostro modo di vedere. Ma trattandosi di autore, che forma testo in tutte le questioni che riguardano le rocce cristalline; non possiamo dispensarci dall' occuparci più diffusamente delle sue idee, tanto più che troviamo anche qui do' disaccordi tra idee e idee dello stesso autore. Fa infatti meraviglia il vedere come, mentre sembra così nettamente proclamare l'identità originaria delle rocce cristalline, dicansi *plutoniche* piuttosto che *vulcaniche*; sia poi tutto inteso a distinguere le une dalle altre, basandosi principalmente su dei fatti, che sono contrarî all' idea della fusione ignea delle *plutoniche*, e sembrano attestarne la bassa temperatura.

180. Delesse, citando infatti moltissimi casi, in cui il metamorfismo di contatto è nullo, e quasi nullo, tende ad insinuare come i trapp, le dioriti, le ofiti, ecc., non siano uscite, attraverso le rocce preesistenti, allo stato di *fusione ignea*. Parendomi

Digitized by Google

molto improprio, o almeno assai equivoco questo termine di *fusione ignea*, io dirò invece che Delesso tende ad insinuare che i trapp, ecc., non siano penetrati nelle rocce incassanti in quella forma, in quello stato, in cui si mostrano attualmente le lave. Intanto però lo stesso Delesso cita, parlando del metamorfismo dei calcari, assai maggior numero di casi positivi, che di negativi. « Quando le rocce trappiche sono in filoni, e anche quando hanno forma di espandimenti (nappes) hanno frequentemente metamorfosato i calcari. La loro azione aumenta colla potenza dei filoni, e si esercitò sopratutto a contatto delle loro pareti. Essa è di rado sensibile a più di un metro di distanza (*Études*, ecc., pag. 139). » Io domando che si esiga di più, per accordare ai trapp la stessa origine, e la stessa energia delle lave? Le lave recenti hanno esse sempre metamorfosato i calcari, o le altre rocce a contatto? Il metamorfismo indotto dalle lave attuali, ha forse oltrepassato lo spessore di un metro? Che cosa hanno offerto di appena rimarchevole, in ordine al metamorfismo, le rovine di Ercolano? Con tanto che si è osservato e scritto sulla storia dei vulcani di tutte le parti del globo, la pagina che riguarda il metamorfismo di contatto, è veramente la più povera: è, più che altro, una pagina negativa. Se avessi dubbio circa l'identità di origine delle rocce trappiche e delle lave, questo si baserebbe piuttosto sulla troppa che sulla poca energia, dimostrata dalle prime in confronto colle seconde.

181. Ma il signor Delesse accusa una grave circostanza. Le rocce metamorfosate non perdettero la loro acqua, i loro fossili. Accumula una vera congerie di esempî di metamorfismo delle rocce argillose, a contatto o in prossimità di trapp. Esse rocce furono indurite, spesso tinte in rosso, divennero litoidi, prismatiche, cellulose, fin fuse parzialmente, perdettero i carbonati, si arricchirono di minerali diversi, diventarono amigdaloidali, ecc., ecc. Ad onta di tutto questo non perdettero, almeno interamente, la loro acqua, o conservarono i loro fossili. Che dalla quasi totalità dei fatti si possa conchiudere, quelle rocce argillose non aver subito, salvo eccezioni, una fusione, nemmeno parziale, e nemmeno un riscaldamento fino al calor rosso, è ciò che io ammetto senza difficoltà. Ma non vedrei punto come si possano pertanto considerare i trapp come distinti dalle lave. Fondono forse le lave le rocce a contatto più che non le fusero i trapp? Il fatto narrato da Recupero (§ 45) è così unico nella storia delle eruzioni, che si è tentati a non crederlo. Del resto ricordinsi i frammenti di rocce preesistenti che servono di nucleo alle bombe vulcaniche, i massi calcarei del Monte Somma, le rocce interclose dell'Eifel, i calcari coperti dalle lave nell'isola San Jago, ecc. ecc., esempî atti a farci meravigliare della meschina attività delle fornaci vulcaniche. Molto meno si fondono le rocce sotto una corrente di lava che si espanda da un cratere. Vorrei anche sapere se le rocce coperte da lave recenti perdettero in tutto, o in parte la loro acqua. E quando ciò fosse avvenuto nelle regioni subaeree, vorrei sapere se avvenne, o almeno se possa avvenire, nelle regioni sottomarine. Da migliaja d'anni e in tutto il mondo v'ha chi cuoce le argille e gli impasti silicei-alcalini nelle fornaci. Vorrei sapere se vi fu mai alcuno che le cuocesse sotto l'acqua, sotto una grande pressione, in nessuna communicazione coll'atmosfera, e sia pur riuscito a fabbricare un mattone, o una lastra di vetro.

Quando si consideri la roccia a contatto di una lava, quasi fosse assoggettata al fuoco di una fornace all'aria aperta, capisco che deve recar meraviglia lo stato di idratazione della roccia incassante, come della roccia incassata. Ma quando si pensi invece, che principalissimo agente vulcanico è l'acqua; che le lave, tratte alla superficie, danno acqua e poi acqua; che, quando siano sottomarine o, comunque, sotto-

messo ad alta pressione, debbono rimanere idrate; che le rocce a contatto sono, per rapporto alla possibilità di perdere la loro acqua, nelle stesse condizioni delle lave, cioè o sottomarine o sotterranee, ci meraviglieremo piuttosto che esse rocce abbiano potuto in parecchi casi subire una perdita della loro acqua. Infine lo stato idrometrico delle rocce a contatto dei trapp, e delle rocce eruttive in genere, piuttosto che prestarci argomento a distinguere esse rocce eruttive dalle lave, ne conferma l'identità di origine.

182. Del resto gli accidenti delle rocce incassanti, nominatamente del calcare, concordano perfettamente con quanto si osserva nelle masse rocciose in prossimità dei centri di recenti o di attuali eruzioni, e sono quelli che io ho inteso sotto il nome di *metamorfismo perimetrico*. Idrossidi di ferro, l'oligisto, il manganese, il carbonato di calce, le piriti, la dolomia, silicati, zeoliti, pirosseni, granati, idrocrasi, quarzo, minerali metallici, ecc. ecc., in vene, in filoni, in amigdali, ecc., ecc. sono tutti fatti citati e descritti da Delesse. Va benissimo, come dice Delesse, che le rocce calcaree, metamorfosate dai trapp, siano generalmente idrate: che i minerali associati siano principalmente idrossidi, carbonati, idrosilicati, e accusino pertanto un'azione acquea, piuttosto che un'azione ignea. Lo stesso si ripete dei grès, e delle rocce argillose. Ma ciò parrà strano semplicemente finchè duri, ripeto, il pregiudizio volgarissimo, per cui si considerano i vulcani come *agenti ignei*, il *vulcanismo* come un un'*azione ignea:* finchè non si consideri semplicemente l'*azione vulcanica*, come una sintesi reale di quanto v'ha di agenti ignei, acquei, aeriformi; il *vulcanismo*, come il complesso di tutte le forze interne, fisiche, chimiche, vulcaniche; il *vulcano*, come la manifestazione più perfetta dell'attività interna del globo; finchè si vorranno considerare le cose non quali sono, nella loro integrità, ma quali si presentano partitamente all'analisi scientifica.

183. Del resto bisognerà anche distinguere i fenomeni concomitanti, e i fenomeni conseguenti l'eruzione dei trapp. Tra i conseguenti accennammo più volte le zeoliti. Sono minerali eminentemente idrati, un semplice prodotto di infiltrazione. Come riempiono, e tapezzano le cavità delle lave dei trapp, così riempiono e tappezzano le cavità dei grès a contatto, ne turano i pori, ne impregnano interamente la massa. Che cosa c'è di più naturale?

Le zeoliti sono, può dirsi, invariabilmente associate alle rocce metamorfosate; anzi la loro presenza costituisce talora quasi l'unico fenomeno di metamorfismo. Le zeoliti riempiono le cavità e imbevono, per dir così, le rocce incassanti, e servono di cemento alle rocce clastiche, cioè ai conglomerati vulcanici. Delesse, che insiste sul fatto della presenza delle zeoliti, come sopra un argomento di preferenza favorevole all'*azione acquea* nel metamorfismo di contatto, non lascia però di avvertire, citando ad esempio i vulcani d'Irlanda, che *le développement des zéolithes a surtout lieu, sur une très-grande échelle au voisinage des volcans en activité* (*Études*, ecc. pag. 222). Non si vede dunque il perchè si tenda, come pare, a separare le rocce trappiche dalle vere lave. I mille fatti citati da Delesse, per dimostrare che il metamorfismo di contatto è dovuto ad un'*azione acquea*, piuttosto che ad un'*azione ignea*, verrebbero a dimostrare semplicemente, che l'azione vulcanica ora e in tutti i tempi e in tutti i luoghi, è piuttosto acquea che ignea. Ma non è, propriamente parlando, nè ignea nè acquea. È un'azione, quanto si può dire, complessa, acquea e ignea ad un tempo.

184. La distinzione di rocce *vulcaniche* o lave, *trappiche* o *granitiche*, come non si fonda sostanzialmente, nè sulla natura mineralogica, nè sui mille accidenti di struttura di giacimento, ecc., non si può dunque sostenere nemmeno dietro il con-

fronto degli effetti di metamorfismo, prodotti sulle rocce incassanti. Sono le opere stesse di Delesse, sopra questo difficile argomento, che mi hanno convinto, che, se si verificano molte differenze accidentali, il metamorfismo delle rocce a contatto delle lave, dei trapp e delle rocce granitiche è, oso dire, sostanzialmente lo stesso. Quanto sto per riassumere (e mi spiace questa ripetizione) si applica, senza eccezione, a tutte e tre le citate famiglie di rocce, che io ritengo tutto ugualmente eruttive. Il metamorfismo della roccia incassante talora è nullo. La struttura rimane spesso alterata, si rende prismatica, cellulosa, ecc. I combustibili fossili offrono un grado più inoltrato di conversione, sono più carbonizzati: i calcari sono convertiti in saccaroidi: le rocce si arricchiscono di minerali, specialmente di silicati, specialmente di granato, e di minerali del gruppo dei pirosseni, o affini, o di minerali dei filoni metallici.

Le differenze, notate da Delesse, non sono tali per mio credere, che ci inducano necessariamente ad amettere una differenza sostanziale tra una lava e un granito. Le rocce a contatto delle lave sono ordinariamente anidre; mentre idrate son quelle a contatto dei trapp e dei graniti. Ma l'origine subacrea delle prime, sottomarina degli altri, spiega largamente una tale differenza. Le rocce argillose sono talvolta vetrificate dalle lave, spesso rese diasprine dai trapp; mentre nè l'un caso nè l'altro si verifica a contatto dei graniti. Ma molte e molte volte non si verifica a contatto delle lave e dei trapp fusione vitrea o diasprina di sorta. I graniti non presentano zeoliti; mentre si scoprono nelle lave, e ne abbondano i trapp. Ma le zeoliti sono prodotti d'infiltrazione, e, se hanno rapporto colla natura chimica delle lave e dei trapp, non ne hanno nessuna colla loro origine.

185. Del resto le differenze sono piuttosto negative che positive; e siccome il numero massimo di tali differenze negative si verifica pei graniti, in confronto delle lave e dei trapp; così trovo ragioni di dubitare che esse dipendano da circostanze affatto estranee all'origine di quelle diverse rocce. Credo importanti due riflessi in proposito: 1.° Per quanto si vogliano ringiovanire i graniti, essi appartengono in massa a formazioni antichissime: la serie dei terreni sedimentari da loro attraversata è assai minore in confronto di quella che venne attraversata dai trapp e dalle lave. Minori di numero debbono quindi essere per i graniti i casi di metamorfismo. 2.° Le rocce antichissime che incassano ordinariamente i graniti, sono già profondamente modificate da quello che i geologi, compreso Delesse, chiamano *metamorfismo normale* di cui ci occuperemo più tardi; da un metamorfismo indipendente dall'azione immediata nelle rocce eruttive. Il metamorfismo di contatto deve esser quindi in troppi casi mascherato dal metamorfismo normale.

186. Richiamerò poi finalmente, che, siccome le ragioni principali che conducono Delesse a separare le *lave* dalle *rocce trappiche*, e più ancora dalle granitiche, sono lo stato comparativo di idratazione, e i fatti che si legano a questo stato di idratazione minore o maggiore; roccia vulcanica per eccellenza dovrebbe dirsi il granito. Poichè, ad onta di quanto fu scritto e gridato circa l'idratazione dei graniti, essi si collocano a fianco delle obsidiane di Lipari e dei leucitofiri del Vesuvio, cioè delle rocce più anidre. Se i fenomeni idrologici devono servir di base ad una separazione di rocce in due gruppi, le *vulcaniche* e le *plutoniche*; il granito si ostinerà sempre a rimanere nel primo gruppo, nè passerà al secondo, se non a patto di entrarvi con tutto il corteo delle andesiti, delle obsidiane, dei leucitofiri, delle trachiti, rocce che gli sono sorelle d'origine.

187. La gran pietra di scandalo fu l'equivoco su cui fondossi sì gran parte della

Digitized by Google

geologia. Sì: fu un equivoco che divise i geologi in *plutonisti* e *nettunisti*. L'equivoco consiste nell'aver dato un falso valore alla parola *fuoco*, e nell'aver quindi messo il *fuoco* a parallelo coll'*acqua*, quasi si trattasse di due sostanze, di due minerali. L'acqua è un concreto, ed è ugualmente intesa tanto dal volgo come dallo scienzato. Il fuoco è, direbbesi, un concreto pel volgo, un astratto per la scienza. Per la scienza la parola fuoco esprime piuttosto una proprietà, che un ente. Anzi per la scienza il concetto di fuoco è così complesso, che nulla più; comprendendo una serie interminata di effetti, di fenomeni diversi, che si verificano in diverse condizioni per diverse sostanze, anzi per tutte le sostanze, quando vi siano opportune condizioni per ciascuna. Come disputerassi quindi se il tale effetto sia prodotto piuttosto dall'acqua che dal fuoco, se l'acqua stessa può essere fuoco? Possono stare a parallelo una sostanza, ed una proprietà di essa sostanza? Si ripudî dunque una volta dal linguaggio geologico la parola *fuoco*, e si sostituisca quella di *temperatura* che è sempre, in un grado o nell'altro, proprietà di ciascuna sostanza, per cui ciascuna sostanza acquista una attività chimica e fisica minore o maggiore; e sarà tolto l'equivoco, spariranno molte difficoltà, e i geologi troveranno modo, prima di intender meglio i fenomeni, poi di intendersi fra loro.

188. Il gran fatto della formazione delle lave *per via umida*, così contrario alle idee finora ricevute sulla loro origine e natura, sarà quello che imporrà termine finalmente alla lotta secolare tra i *plutonisti* e i *nettunisti*. Noi non siamo ancora entrati ne' misteri di questa occulta generazione nelle viscere della terra; non abbiamo ancora veduto come l'acqua, ad alta temperatura, abbia essa medesima, ed essa soltanto, questa virtù generatrice. Abbiamo però riconosciuto di fatto, e assistendo alle eruzioni, e esaminando le lave eruttate, e analizzando ad una ad una quelle rocce che i geologi chiamano o lave, o rocce plutoniche, o rocce cristalline: abbiamo, dico, riconosciuto che non il granito soltanto, è, come lo definiva Scheerer, *une bouillie aqueuse*; ma tutte le lave, antiche e moderne, sono ugualmente, o assai meglio del granito, veri impasti acquosi, infuocati, di minerali cristallizzati. Basta questo fatto per sperare una conciliazione tra i difensori dell'acqua da una parte e i propugnatori del fuoco dall'altra. La scuola di Werner, che attribuiva totalmente all'acqua la formazione delle rocce, che in tutte le rocce non riconosceva che altrettanti sedimenti, dominò sovrana a suo tempo, e impose erculei sforzi ai detti *plutonisti*, per dimostrare che i basalti, i trapp, erano in origine rocce eruttive, lave vulcaniche. Ma i segni del vulcanismo erano troppo evidenti. I fatti più palmari in cumulo infinito, la vinsero sul nettunismo. I plutonisti però furono assai più moderati nella loro vittoria, facendo larga parte all'acqua, e riserbando al fuoco sol quanto sembrò non gli si potesse negare.

La geologia trovossi naturalmente divisa in due rami: la *stratifirafia* che sviluppossi in proporzioni enormi, e quella che io chiamo *endografia*, cioè in quel ramo che riguarda i terreni eruttivi antichi, ramo che è rimasto, per vero dire, assai mingherlino. I plutonisti ebbero però il torto di pigliare la parola *fuoco* in un senso troppo letterale, e diedero perciò occasione al nettunismo di risorgere, quando si credeva già spento. Bischof infatti sembra voglia risuscitare il *nettunismo*, in tutta la sua primitiva integrità, e rimetterlo in campo con tale apparato di forze, da minacciare un'altra volta il *plutonismo*.

189. Qui bisogna distinguere, secondo me, il *plutonismo puro*, dal *plutonismo moderato*. Lo stesso dicasi del *nettunismo*. Il *plutonismo puro*, combattuto da Bischof, è quello che attribuisce la formazione di molte rocce, dei graniti, dei porfidi, dei ba-

salti, dei trapp, all'azione del calore puramente, che vuole queste rocce un prodotto di *fusione ignea*. *Nettunismo puro* è quello che le dette rocce vuole sedimentari, o meglio metamorfiche; vi riconosce cioè dei veri sedimenti, dei depositi marini, metamorfizzati poi da un processo chimico, che si compie per virtù delle acque.

Gridano i nettunisti: questi minerali non possono formarsi che per via umida, quindi essi, e le rocce che ne sono composte, non possono essere uscite dai vulcani. Rispondono i plutonisti: questi minerali, queste rocce uscirono veramente dalle bocche dei vulcani: non possono quindi essere generati per via umida, ma sono un prodotto di una fusione ignea.

Posti su questo campo i plutonisti e i nettunisti possono combattersi in eterno, senza mai scoprire una via di conciliazione. I primi non cesseranno mai di rinfacciare i mille fenomeni che accertano l'origine vulcanica di una gran serie di rocce cristalline; i secondi opporranno sempre gli innegabili indizî che quelle medesime rocce offrono dell'azione acquea. Infatti Bischof, che scrisse tre egregi volumi per combattere il plutonismo, sembra identificare il concetto di eruzione, con quello di fusione; non ammettere altre lave, che lave fuse; e non concedere a' plutonisti altra idea che quella della *fusione ignea*, ritornando le mille volte alla carica, per provare che nelle rocce cristalline si riconoscono i caratteri di un processo chimico per via umida, non mai una fusione, un processo per via secca. Naumann, per citare uno della scuola plutonica, a cui dobbiamo però rendere giustizia di avere almeno citate, e anche appreziate alcune delle osservazioni di Scrope, di Scheerer ecc. (*Lehrb.* I, pag. 707) combatte Bischof, adunando i mille e mille fatti, che provano l'origine vulcanica delle rocce cristalline, fin del granito e del gneiss: sostiene quindi la produzione di esse rocce per via secca. I fatti innegabili che i combattenti devono pure ammettere, contro le rispettive teoriche, che essi difendono, sono considerati come pure eccezioni. E a ragione così si combattono plutonisti e nettunisti, perchè le osservazioni di Scrope sulla natura delle lave rimasero, quasi dissi, sepolte nell'eccellente volume che le racchiude.

Ora che le osservazioni di Scrope cominciano ad essere meglio conosciute e considerate; ora che le esperienze di Daubrée danno ragione dei fatti rilevati dallo Scrope; ora, infine, che si riconosce, le lave generarsi in grembo alla terra per via umida, per virtù dell'acqua, giovata dalla temperatura e dalla pressione, e da tutto il corredo degli agenti chimici: a che si riducono tutte le discussioni contro i plutonisti, se non a confermare un fatto che i plutonisti moderati ammettono, e pongono a base di una nuova geologia?

190. Sì, le lave in genere, antiche e moderne, non sono punto *masse fuse*, ma magma, fanghi acquei eruttati dalle viscere della terra, ad una temperatura che, se l'esperienza ci mostra in genere molto alta, avrebbe però potuto essere talora assai mediocre. Essere eruttato da un vulcano vuole egli dire essere fuso? No certamente, poichè stanno tra i fenomeni più ripetuti le eruzioni di vero fango. Anzi nessuna essenziale differenza, secondo le analisi di Abich, corre tra le lave, meglio tra i tufi vulcanici, e i fanghi eruttati dai *vulcani di fango* delle regioni del Caspio. Chi sa quante rocce eruttive antiche si riconosceranno originate a modo dei trapp e dei fanghi caspiani! Nessuno per questo dirà che i trapp, i fanghi delle salse, e le rocce di somigliante origine, siano sedimenti originarî o metamorfici. Allo stesso modo adunque, quando sia riconosciuto che l'acqua piglia tal parte nella genesi delle rocce cristalline, che si possono definire *fanghi cristallini*, cesseranno, è vero, dal venire considerati come masse fuse, come *vetri;* ma non diverranno sedimenti per questo.

Digitized by Google

Anzi è qui, che, come dissi, le due scuole debbono incontrarsi, e darsi finalmente la mano. Dalle osservazioni dello Scrope e dalle esperienze di Daubrée nasce la teorica, in cui sta il segreto della conciliazione. Ai plutonisti rimarrà il merito d'aver raccolti i molti fatti che dimostrano l'origine eruttiva delle rocce cristalline: ai nettunisti quella delle tante preziose osservazioni ed esperienze, da cui risulta la parte di agente primario che rappresentò l'acqua nella formazione delle stesse rocce.

Aggiungi il concetto della eruzione sottomarina della maggior parte delle rocce cristalline, cioè delle antiche lave; e avrai un secondo segreto di conciliazione tra le due scuole. L'assenza d'ogni indizio di fusione, il nessun metamorfismo igneo per effetto di contatto, la natura idrata delle rocce cristalline, la mancanza di bollosità, di scorie, di lapilli, di ceneri, tutti infine i fatti, che rendevano così misteriosa l'origine delle rocce più antiche, dell'indole dei graniti, che sembravano altrettante negazioni del vulcanismo, si spiegano con questi due veri: 1.° che le lave sono magma acquei: 2.° che le lave antiche sono, per la massima parte, eminentemente sottomarine.

191. Ma non conosciamo ancora tutta la fecondità dei veri enunciati. Essi ci guideranno ben presto a riconoscere le ragioni di ciò che finora abbiamo ammesso in via di fatto. Speriamo cioè di assistere ben presto alla generazione delle lave, come assistemmo alla loro nascite; di vedere come si granulano, si cristallizzeno, in luogo di vetrificarsi; e come, ad onta della uniformità dei processi impiegati dalla natura in tutti i tempi, le antiche lave siano, in genere, più cristalline delle moderne; e come queste presentino più sovente, che non quelle, il fenomeno della vetrificazione. Il segreto di tutto ciò sta essenzialmente nel primo dei veri enunciati nel precedente paragrafo, e accidentalmente nel secondo.

Il fondamento della nuova scuola, che non ha ancora acquistato un nome, ma che si arricchirà sola delle opime spoglie delle due scuole cadute, sarà il connubio che lega nelle profondità delle viscere terrestri quegli stessi due agenti, di così diversa natura, il cui antagonismo, rivelandosi soltanto alla superficie della terra, creò l'antagonismo tra gli osservatori. Questi, in genere, ebbero il torto di arrestarsi ai fenomeni superficiali, anzi troppo spesso ai fenomeni apparenti, e non avvisarono che son due le vie per cui si penetra colla mente, dove non si può inoltrarsi col corpo; l'*osservazione* e l'*esperienza*. La prima è base, e punto di partenza della seconda. Colla prima abbiamo stabilito il fatto: colla seconda stabiliremo le ragioni del fatto.

VIII. La cristallizzazione delle rocce eruttive dimostrata come fenomeno interno, anteriore alla emissione, dall'osservazione e dalla esperienza.

Oggetto del presente Capitolo, 192. — *Insufficeinza delle osservazioni*, 193. — *La geologia sperimentale*, 194. — *Sintesi dei minerali*, 195. — *Via secca e via umida*, 196. — *Sintesi per fusione*, 197. — *Per soluzione in un liquido*, 198. — *Per sublimazione*, 199. — *Via umida*, 200. — *Sintesi per contatto capillare*, 201. — *Sintesi nell'acqua compressa ad alta temperatura*, 202. — *Conclusione*, 203. — *Scarsezza dei risultati per via secca*, 204. — *Brillanti successi per via umida*, 205. — *Come si formano le lave* 206. — *Quanto sia radicata l'idea della fusione*, 207. — *Le lave escono cristallizzate*, 208. — *Esperienze di Watt*, 209. — *Lave cristalline raffreddate istantaneamente*, 210. — *Tufi di Viterbo e scorie dell'Eifel*, 211. — *Pioggie di cristalli*, 212. — *Indizi d'azione fisica sui cristalli*, 213. — *Si ribatte un'obiezione di Zirkel*, 214. — *Obsidiane di Teneriffa*, 215. — *Indizi di azione meccanica*, 216. — *La struttura litoide non si deve a decomposizione*, 217. — *Si precisano le idee sullo stato della lava*, 218. — *La granulazione delle lave secondo Scrope*, 219. — *Il vapore come causa della loro mobilità*, 220. — *L'acqua allo stato sferoidale*, 221. — *Sua esistenza entro le lave*, 222 e 223. — *Consolidamento delle lave*, 224. — *Probabilità di un cemento idro-termale*, 225. — *Conclusione*, 226. — *Le rocce cristalline ritraggono le lave moderne*, 227. — *Granulazione interna delle antiche rocce*, 228. — *Prove dedotte dalla triturazione nei dicchi*, 229. — *Esempi*, 230. — *Porfidi di Lugano*, 231. — *Parallelismo dei cristalli*, 232. — *I graniti lombardi*, 233. — *Accordo della esperienza colla osservazione*, 234. — *Apparato di Daubrée*, 235. — *Produzione artificiale di magma acquei cogli elementi granitici*, 236, 237. — *Tesi fondamentali provate dalle esperienze di Daubrée*, 238. — *Osservazione di Scheerer a riprova di esse tesi*, 239. — *Osservazioni di Bouche-porne*, 240. — *Problemi sciolti*, 241, 242. — *Esperienze di Daubrée sui serpentini*, 243. — *Le tesi circa l'origine delle lave confermate dai serpentini*, 244, 245.

192. Voglio che ci intendiamo bene circa l'oggetto del presente Capitolo. Nei precedenti ci siamo studiati di dimostrare che le rocce cristalline composte, quelle che passavano sotto il nome di *rocce vulcaniche*, come quelle che si dicevano *pluto-*

Digitized by Google

niche, sono lave; lave eruttate da vulcani, moderni o antichi, subaerei o sottomarini. In questo studio noi ci siamo comportati da puri geologi osservatori, confrontando le lave attuali, con tutto quel corredo di fenomeni che ne accompagnano l'eruzione, colle rocce cristalline, nei loro caratteri, e nei loro modi di presentarsi. Abbiamo veduto che le rocce cristalline si presentano a noi, come si presenterebbero a chi osservasse dopo di noi le nostre lave o subaeree o sottomarine, e abbiam conchiuso, che quelle rocce sono lave o subaeree o sottomarine. Anche la presenza dell'acqua nelle lave erompenti, che o sfugge, o è trattenuta, secondochè l'espansione del vapore vince o è vinta dalla pressione, fu da noi ammessa come un fatto presente, che trova un sicuro riscontro, pel passato, nella idratazione delle rocce cristalline. Ma, come osservatori, dovendoci arrestare alle semplici manifestazioni esterne, di ciò che si opera nell'interno del globo, siamo rimasti colla certezza, che le lave moderne, e antiche, escono ed escirono tutte sostanzialmente composte ad un modo, che è quello di un *magma acqueo cristallino*, ma nella completa ignoranza delle ragioni di un fatto così grandioso, così universale per tutti i tempi, per tutti i luoghi, e quindi cardinale per la geologia endografica.

Non potremmo squarciare quel velo che si frappone fra noi, e i profondi penetrali di quella misteriosa generazione, in cui pare si consumi con assiduo lavoro, tutta l'attività del globo? Eccovi l'oggetto del presente Capitolo.

193. Trattandosi di fenomeni che si operano in que' regni misteriosi inaccessibili, l'osservazione non basta .. diciamo meglio, è impossibile. Qualche vero possiamo coglierlo immediatamente, insinuandoci sotterra, fin dove ci è permesso. Lo stillicidio che incrosta le pareti di una caverna, i gas che si svolgono dalle profondità di una miniera, l'acqua che sorge da un pozzo artesiano, sono pure alcuni legittimi saggi della attività interna del globo. Molti veri poi possiamo dedurli razionalmente, esaminando i fenomeni, che si presentano all'esterno, ma che sono altrettante manifestazioni dell'attività interna. Nè abbiam certo mancato di raccogliere quei veri, mano mano che ci si presentarono. Ma già ci accorgiamo che gli argomenti dedotti dall'osservazione ci vengono meno, e i problemi insoluti ne reclamano altri, che l'osservazione ci rifiuta. Io osservo, per esempio, che sui labbri dei fumajuoli vulcanici si depone il ferro oligisto, sublimato in cristalli. Trovando cristalli di ferro oligisto, in dipendenza di una roccia eruttiva, non temerò di errare, se affermo che quell'oligisto è il prodotto di antichi fumajuoli, di antiche emanazioni. Ma come poi si produce quell'oligisto? come viene a deporsi sui labbri dei fumajuoli?.... L'osservazione tace. Mi resta però un'altra via d'uscirne: mi resta ancora qualche cosa da interrogare, ed è?... l'esperienza. Nel citato caso pratico dell'oligisto, l'osservazione non dicendomi come esso si formi, studierò di mettermi in quelle condizioni, in cui opera la natura: e se l'arte, operando in quelle condizioni, mi dà l'oligisto, crederò ragionevolmente d'aver strappato alla natura il suo segreto.

194. La geologia sperimentale è nata jeri. Ha fatto poco, ma promette assai. Come ha già prodotto un gran numero di quei cristalli, di cui sono ingemmate le viscere dei monti, arriverà presto a produrre quelle lave che la terra vomitò dalle bocche dei suoi vulcani. Ne ho ferma fede. Anzi qualche cosa di simile già si può dire ottenuto. Autori della scuola sperimentale sono Leibnitz, Hall, Mitscherlich, Berthier, Ebelmen, Gaudin, Forchhammer, Mauross, Carlo Deville, Enrico Deville, Caron, Depretz, Gustavo Rose, Gay-Lussac, Bischof, Daubrée. Il bellissimo *Rapport sur les progrés de la géologie experimentale*, presentato da quest'ultimo nell'occasione della *Esposizione universale* a Parigi, nel 1867, ci risparmia la pena di raccogliere de' materiali

sparsi raramente in opere e in *atti* d' accademie diverse, per dare un'idea ai nostri lettori di questo nuovo ramo della geologia, che ha già maturati scarsi, ma buoni frutti.

195. Noi abbiamo già dato altrove (*Parte seconda*, §§ 16-23) un' idea di ciò che gli esperimentatori chiamano *sintesi*. Discorrendo dei diversi processi artificiali di cristallizzazione, abbiamo veduto, come, data la coesistenza di certi elementi, in certe condizioni, essi elementi si combinano, e ne risulta un composto, cioè un minerale. Abbiamo già osservato fin d'allora che l'arte, per arrivare a questa sintesi, non faceva che porsi, per quanto le era possibile, nelle condizioni in cui opera la natura principalmente nell'interno del globo, ove la coesistenza degli elementi, le alte temperature, le pressioni, lo stato dei corpi, o solido, o liquido, o vaporoso, o gazoso, e tutte le condizioni, create dalla esperienza, sono assicurate dalla osservazione. Per ciò dissi che l' *osservazione* è la base e il punto di partenza dell'*esperimentazione;* e soggiungo che nessun esperimento avrà valore in geologia, se non in quanto si appoggia all' osservazione, o almeno non la contraddice. Venendo ora dunque a dare un po' di sviluppo a questo importantissimo argomento, prevengo che, anche quando non lo accenni, i risultati delle esperienze hanno un valore geologico, in quanto gli esperimentatori si posero nelle condizioni che facilmente, o necessariamente, si verificano in natura, partirono cioè da quanto la natura palesa, per scoprire ciò che la natura nasconde. Seguendomi in questa breve rassegna dei risultati ottenuti, in ordine alla *sintesi dei minerali*, nella quale mi attengo quasi letteralmente al citato *Rapporto* di Daubrée, abbiate di mira specialmente di cogliere i fatti, che riguardano la genesi dei minerali i quali entrano come constitutivi delle rocce cristalline; perchè questa rassegna ha per scopo principale di offrirci quegli elementi che lo studio della *sintesi dei minerali* può offrirci per lo studio della *sintesi delle rocce cristalline*, le quali non sono che aggregazioni dei minerali cristallini.

196. La sintesi dei minerali si ottiene o per *via secca*, o per *via umida*, ossia senza, o coll' impiego dell' acqua. L'impiego del vapore acqueo segna una via di mezzo tra la *secca* e la *umida*.

197. La semplice *fusione* della selce con differenti basi diede a Berthier il pirosseno augite identico a quello della natura. Ecco come un minerale, che entra come uno dei più abbondanti costitutivi delle rocce eruttive, non abbia bisogno, per prodursi, che di un'alta temperatura in presenza di certi elementi, non abbia bisogno cioè che delle condizioni più facili a verificarsi nell' interno del globo. Ma ben pochi, a dir vero, furono i risultati ottenuti colla semplice fusione. L' esito ordinario è di ridurre gli impasti in leghe metalliche, in vetri, infine in paste omogenee, dove non si osserva punto il fenomeno più importante, di cui si occupa la endografia, cioè l'isolamento di minerali cristallizzati, in una massa composta d'altri elementi, e d' altri minerali. E vedremo infatti che ben pochi sono i casi in cui si può sospettare che la natura abbia impiegato un tale semplicissimo processo.

198. Associando invece l' azione di un'alta temperatura a quella di altri agenti, o passando per una gradazione di effetti, pare la natura ottenga ciò che, immediatamente, sarebbe impossibile. L' arte ha già scoperto un buon numero di questi processi più complicati, con cui la natura aveva prodotto ciò che l'arte disperava di ottenere. Certi elementi che non si combinerebbero per nessun modo da soli, trovano di combinarsi passando per un medio; sciogliendosi, per esempio, in un liquido che poscia svapori. Sciogliendo, ad alta temperatura, i diversi elementi nell'acido fosforico, nei fosfati alcalini, nell' acido borico, nei carbonati di potassa e di soda, ecc.,

Ebelmen riprodusse i diversi spinelli, il peridoto, il pirosseno, il rutilo, la magnetite, il ferro cromato, e altri minerali della natura. Altri ne ottenne operando nelle materie fuse, come i chimici operano nell'acqua; producendo cioè, mediante certi reagenti, delle separazioni, delle precipitazioni. Così ottenne i protossidi di cobalto e di nickel, l'ossido di ferro magnetico, operando entro silicati o borati in fusione, mediante la calce, resa incandescente.

In modo somigliante furono ottenuti la grafite, la baritina, l'apatite, il corindone, la stanrotide, ecc., da Deville, Caron, Mauorss, Forchhammer.

199. Molti minerali si *sublimano*, cioè si separano dal vapor acqueo; o da altri vapori, e si depongono, come si depone la brina, quando il vapore si raffredda a contatto dei corpi. Ma più ardite combinazioni si ottengono, colla mutua reazione di diversi vapori, come già accennammo (*Parte seconda* § 21). Come facilmente e due e tre vapori possono trovarsi in concorso entro l'attivissimo laboratorio tellurico! Più facilmente ancora avverrà che un getto di vapore, emanante dall'interno dalla terra, si getti sopra un corpo solido. Come il gas solfidrico, gettandosi sul calcare, lo trasforma in gesso; così un vapore clorurato e magnesiaco può convertirlo in dolomia; e i clorurì di silicio o di aluminio producono dei silicati e degli aluminati in cristalli; e il semplice vapor d'acqua toglie la selce ai mattoni, cioè alle argille ricotte ad alta temperatura, per deporla a guisa di neve, secondo le esperienze di Durocher, Daubrée, Carlo Deville. Un numero grande di minerali furono ottenuti coi processi indicati.

200. Venendo alla *via umida* ricorderemo come l'acqua sia il solvente più universale. Noi abbiam detto abbastanza sulla facoltà solvente dell'acqua, sopratutto quando è ajutata da un'alta temperatura, da una forte pressione, e dal concorso di solventi ausiliari, per dispensarci dal richiamare quei prodotti più communi, che pur si operano per questa via nel grande laboratorio della natura. Richiamo soltanto, sempre sulla scorta di Daubreé, i fatti più meritevoli di ricordo.

201. Gli apparati della galvanoplastica, a tutti noti, ci ricordano già quale potenza possa aver l'acqua nello sciogliere, nel ricomporre, nel render liberi i minerali meno solubili. *L'albero di Saturno*, l'*albero di Diana* sono esperimenti analoghi a quelli della galvanoplastica. Nella stessa categoria entrano le esperienze di Bequerel, o di Fromy per la produzione dei minerali cristallizzati, per effetto del semplice contatto capillare di liquidi, ossia di soluzioni diverse, per cui si ottennero il rame nativo, il solfato, il carbonato e il borato di barite, il carbonato e il solfato di piombo, l'ossalato di calce, diversi solfuri, ecc. Non farà bisogno di notare come i minerali nominati si annoverano tra gli *insolubili*, e lo sono realmente nell'acqua, posta nelle circostanze ordinarie, benchè portata alla temperatura di ebollizione. Ma ormai si può ritenere che non vi ha corpo insolubile, quando l'azione solvente dell'acqua trovi degli ausiliari, fra cui le affinità chimiche, sveglie sotto l'impulso del galvanismo.

Or si pensi come facilmente, come inevitabilmente, devono trovarsi già disposti in natura quegli apparati che risposero così bene alle esperienze di Bequerel o Fremy. Si può dire che la crosta del globo, composta di filtri, cioè, di rocce più o meno permeabili, tutte porose, mentre si presta a quel sistema di universale circolazione acquea, cui ebbimo campo di ammirare altre volte (*Parte prima*, Cap. XXII), costituisce in pari tempo un vero sistema di tubi, di diaframma capillari, che, ponendo a contatto le diverse soluzioni, di cui le sorgenti minerali ci danno così molteplici saggi, provoca quelle lenti reazioni che danno origine a tanti composti sotto forma cristallina, a queglino stessi che ci si offrono così sovente cristallizzati.

Digitized by Google

202. Se poi l'acqua è portata ad alte temperature, che si possono elevare indefinitamente, sotto pressioni indefinitamente accresciute; non vi ha nulla che non possa ottenersi colla via umida. Noi ci siamo già intrattenuti più volte della attività solvente dell'acqua, portata ad alta temperatura, sotto una forte pressione. La *dinamica terrestre* vi cercò le ragioni della mineralizzazione delle sorgenti, dei *geyser*, e di molti fenomeni vulcanici (*Parte prima*, § 729). Ora la *endografia* vi cerca quelle della esistenza di tanti minerali nelle rocce e nei filoni.

Haidinger e Morlot, eccitando la reazione tra il solfato di magnesia e il carbonato di calce nell'acqua ad alta pressione, produssero la dolomia. Lo stesso prodotto ebbero Favre e Marignac, impiegando il clorure di magnesio. Coronate dal risultato più brillante furono le esperienze, colle quali Sénarmont intese a riprodurre i principali minerali dei filoni metalliferi. Operando coll'acqua, ad una temperatura di 130 a 300 gradi ne ottenne oltre a 30 de'più caratteristici, fra i quali il quarzo, il ferro spatico, i carbonati di manganese e di zinco, il solfato di barite, l'antimonio solforato, il mispickel, l'argento rosso (*Expériences sur la formation*, etc. *Annales de chimie et de physique*, Tom. XXVIII e XXXII). Agendo allo stesso modo Daubreé aggiunse i silicati anidri, come avremo miglior campo di conoscere.

203. Come facilmente anche in natura si potranno verificare quelle condizioni che sono richieste dall'arte nelle accennate esperienze! Se chiediamo dell'acqua a temperature altissime, e sotto forti pressioni, noi chiediamo ciò che la terra ci mantiene necessariamente dappertutto, a mediocrissime profondità. Tanto basta per chi considera le cose in teorica, e cerca di stabilire dei principî generali. Quando si tratti della pratica, di spiegare caso per caso, bisognerà necessariamente, come ben osserva Daubrée, lasciarci guidare dalle indicazioni dei giacimenti; studiare le specialità dei terreni. Ma al punto in cui siamo non sarà troppo difficile il riconoscere gli effetti di una semplice fusione, o scoprire le tracce di quei medî, fusi ad altissima temperatura, in cui si fossero generati dei cristalli, o intendere se il minerale è deposto per sublimazione, ovvero se ebbe per medio solvente e generatore l'acqua. Bisogna anche riflettere che un minerale non si presenta mai isolato: anzi d'ordinario è associato ad altri, ed entra a parte di una formazione. I caratteri delle formazioni pertanto, quelli dei minerali associati, le condizioni di giacitura, tutto infine servirà a mettere in chiaro l'origine di un minerale, quando dai caratteri del minerale in sè stesso riuscisse problematica. Ci basti intanto che gli studî sulla *sintesi artificiale* dei minerali ci hanno messo in mano parecchi modi coi quali, nel caso pratico, possiamo renderci ragione della loro *sintesi naturale*.

204. Dobbiamo ora suggerire alcuni riflessi circa i risultati ottenuti coi diversi processi di *sintesi artificiale*. Anzi tutto osserviamo come colla semplice fusione non si ottenne quasi nulla. Fondendo si ottengono degli smalti, dei vetri, delle masse amorfe, omogenee, ove l'isolarsi di un cristallo è cosa piuttosto straordinaria che rara. Io non credo che si sia ottenuto, per semplice fusione, operando allo scopo di ottenere la sintesi, uno solo dei minerali che si possono considerare come costitutivi delle lave, salvo il pirosseno, e anch'esso soltanto sotto la forma di augite. Dissi, operando collo scopo di ottenere la *sintesi*; poichè io non posso attribuire molto valore a qualche caso di sintesi accidentale, e qualche minerale che apparve cristallizzato nelle scorie dei forni fusorî; mentre, trattandosi sempre di casi eccezionali, bisognerebbe poi verificare, quali fossero le eccezionali condizioni, che hanno potuto determinare quelle formazioni. Ribadiremo l'argomento più tardi.

Gli altri processi, che non sono di semplice fusione, e che non si saprebbero come

applicare, quando si volesse spiegare la cristallizzazione delle lave, come un risultato del lento raffreddamento di una materia fusa, non diedero nemmen essi dei risultati molto decisi, pel caso nostro. Per soluzione però in liquidi ad alta temperatura si ottenne ancora il pirosseno, più l'olivina, altro minerale che si trova sparso talora così abbondantemente nelle lave. Quanto ai risultati della sublimazione, abbiamo la selce; ma, si badi bene, in questo caso ci entra già il vapore acqueo, e siam quindi piuttosto sulla via umida che sulla via secca.

205. Una volta che siam messi sulla via umida, una volta che il solvente universale si presenta, si ottengono tosto copiosi e brillanti successi. Parlo sempre di quelli che interessano immediatamente la questione della prima genesi dei prodotti endogeni. I minerali si creano e si moltiplicano per incanto, e sono i minerali stessi che riempiono i filoni. Il solo Sénarmont, abbiam detto, ne compose 30. Sono minerali dei filoni, non delle lave. Ma quando si pensa agli intimi legami che stringono alle lave i filoni, e come le une e gli altri sono prodotti della stessa officina, si può credere d'essere già presso a scoprire il segreto degli agenti che vi funzionano, e si può già presumere che la base d'ogni operazione sia l'acqua. Ho parlato solo dei minerali dei filoni; ma non ci sfugga che uno dei minerali più fondamentali delle rocce eruttive, ci si trova, formato per via acquea; il quarzo.

Potrei insistere sui fenomeni che attestano la potenza generatrice dell'acqua, ma temerei di ripetermi troppo dappoi; poichè dovremo troppo tornare, e ritornare, e aggirarci quasi continuamente sopra un fatto, che è, per così dire, il perno della endografia. Proseguiamo invece a vedere come la geologia esperimentale, dalla sintesi dei minerali, ottenuta con sì pieno successo, sia già passata alla sintesi delle rocce, con risultati non tutti negativi. Che sono le lave se non impasti di minerali identici od affini a quelli di cui conoscemmo la genesi prima?

206. Quando uno cerca di rendersi ragione della origine delle lave, si propone questo gravissimo problema: Come mai nell'interno del globo si formano degli impasti cristallini, anzi di cristalli, di minerali affatto diversi per forma, per composizione, e che si fondono a gradi così differenti di temperatura?

Ponendo così il problema, io ammetto già ciò che credo di aver dimostrato (*Parte prima*, §§ 825-829), ammetto cioè che le lave escono già granulate, già cristallizzate; che quindi si granulano, si cristallizzano in grembo alla terra. Se il problema dovesse venire proposto secondo le idee dei plutonisti puro sangue, i quali non veggono nelle lave che materie fuse; o si dovesse quindi domandare, perchè le lave, raffreddandosi, si sminuzzano in cristalli di forma, di natura diverse, che si fondono e si consolidano a diversissime temperature: un problema così espresso, io non vorrei nemmeno accingermi a scioglierlo. Diffatti un problema che si fonda sopra un supposto, contraddetto dai fatti, e che, anche ammesso il supposto (cioè lo stato di fusione delle lave), trova nella esperienza e nelle leggi della fisica tutto quanto può trovare di negativo, non è un problema, ma un assurdo.

207. Eppure Naumann definisce le lave così: *Die Lava ist geschmolzenes oder feuring flüssiges Gestein* (*Lehrb.*, I, pag. 57). E così si esprimono i geologi in generale, come se le osservazioni innegabili in contrario, fossero state raccolte o pubblicate dallo Scrope così per celia. L'idea bevuta alle scuole, che le lave sono materie fuse è così radicata anche in quelli i quali pur cominciano a ribellarsi al *plutonismo puro*, che io credo, non solo opportuno, ma necessario un ritorno sulla questione della cristallizzazione delle lave antecedente alla loro emissione, tanto più che agli argomenti tratti dalle lave attuali o recenti, possiamo aggiungere quelli dedotti dall'esame delle rocce eruttive di tutti i tempi.

Digitized by Google

208. Le lave escono dal cratere già cristallizzate. Ecco la proposizione di Scrope che io sostenni e sostengo. Gli argomenti di questa tesi, raccolti dallo Scrope, e da me riportati (*Parte prima*, §§ 825-829), non che altri che si possono addurre, sono tali e tanti, che il negare la cristallizzazione antecedente alla emissione delle lave, è un ribellarsi alla evidenza. Tutti confessano che le lave sono in genere litoidi e cristalline, come litoidi e cristalline sono le rocce eruttive più antiche. Le lave vitree, le obsidiane, le perliti, le retiniti, sono affatto eccezionali. Ho visitato il Vesuvio, i Campi Flegrei, i vulcani romani, i distretti vulcanici del Vicentino, della Boemia, del Siebengebirge, dell'Eifel, alcuni distretti trappici d'Inghilterra, ecc. Non ebbi tuttavia mai il piacere di raccogliere un solo frantume di obsidiana, o d'un vetro vulcanico qualunque. Se io avessi voluto raccoglierne, avrei saputo benissimo ove rivolgermi; ma ciò non toglie che io possa affermare, insistendo assai su questo fatto innegabile, che le lave vitree sono una vera eccezione. Le lave si possono, di regola generale, definire come *aggregati di cristalli*. Perchè si vuol'egli sostenere che, lo stato che si presenta, in via affatto eccezionale nelle lave consolidate, è lo stato normale delle lave uscenti dal cratere? E ciò si vuol sostenere dopo che da migliaja di anni, in mille luoghi, l'industria fonde e vetrifica quanto vi ha di fusibile e di vetrificabile, e non potè mai ottenere nulla di ciò che possa paragonarsi ad una lava qualunque, antica o moderna, non dirò porfiroide, ma appena mediocremente cristallina.

E appena i plutonisti più sviscerati seppero scoprire, qua e là, tra le scorie delle officine, qualche cristallo, cui non seppero poi artificialmente riprodurre. Ebbero un bel torturare la natura; ma fondendo sostanze vetrificabili, non ottennero che vetri.

Con questi risultati negativi la geologia esperimentale proclama quindi altamente che le lave escono dal cratere già granulate, già cristallizzate.

209. Lo scudo d'Achille pei plutonisti sono i risultati delle esperienze di Watt. Questo celebre esperimentatore, come riporta lo Scrope (*Les volcans*, pag. 116), operò sul basalte di Rowley-Rag, che si adopera nello stabilimento Chace, per la fabbricazione delle pietre artificiali. Fuso perfettamente in un forno, e lasciato raffreddare con estrema lentezza, assume gradatamente una tessitura più o meno lapidea, per la formazione di certe concrezioni globulari, che, moltiplicandosi, mutuamente comprimendosi e penetrandosi, finiscono col dare alla massa, concreta pel raffreddamento, una grana squamosa, e semicristallina. Da una massa semicristallina, ad una roccia cristallina, porfiroide, ad un aggregato di cristalli, c'è ancora lungo cammino. Se tuttavia il basalte, fuso come abbiam detto, si versa in un recipiento all'aria aperta, come si suole versare il ferro fuso dal crogiuolo nello stampo, esso si indura sotto forma di vetro perfetto, e presenta i caratteri della obsidiana. Si ritenne adunque causa vinta. Lo stato cristallino delle lave è dovuto al lento raffreddamento: le lave vitree sono quelle il cui raffreddamento fu rapido.

210. Ma come va che non si incontrino lave vitree dappertutto, almeno sulla superficie delle correnti? Come va, che appaiano così zeppe di cristalli quelle parti il cui raffreddamento è certo istantaneo? Cristalline infatti, come le lave più profonde e compatte, sono le lave più superficiali e più scoriacee, le stesse scorie, le bombe, lanciate in aria dai vulcani. Io raccolsi sul Vesuvio molte bombe, lanciate dalle più recenti eruzioni, che produssero lave così vitree all'aspetto. Spezzate quelle bombe, e vedrete che sono un impasto di grani e di cristalli. Ho già citato il medaglione di lava vesuviana, d'aspetto vitreo, e di struttura assolutamente porfiroide, che si

conserva al Museo di Milano (§ 13). Le guide del Vesuvio, che, in circostanze opportune, si occupano di tali getti, debbono essere ben esperte, poichè il raffreddamento della lava è istantaneo. Come potrebbero quelle medaglie sortire porfiroidi, se la lava nol fosse? Tutti conoscono la lava dell'Arso (Ischia) che si può citare e come lava eminentemente scoriacea, anzi pomicea, e come lava porfiroide per eccellenza, in sì gran copia scorgonvisi disseminati, e frantumati i bianchi cristalli di feldspato, così isolati, che la loro presenza si attribuirebbe a un puro impasto meccanico.

Le pomici delle Canarie sono sparse di cristalli di feldspato, di augite, di lamine di mica, di globuli di hauina, di magnetite, di titanio. Spallanzani si intrattiene a lungo a descrivere le scorie che venivano lanciate dallo Stromboli, e si meraviglia di non trovarle vetrificate, ricche invece di cristalli di sorlo, cioè di augite (*Viaggio alle due Sicilie*, II, Cap. XI). Così, descrivendo minutamente le celebri pomici di Campo Bianco a Lipari, nota come siano disseminate di cristallini di feldspato, i quali, non discernendosi dapprima, perchè il color bianco li confonde colla massa pomicea; si scoprono poi quando, fusa artificialmente la pomice, si converte in vetro colorato, su cui spiccano i bianchi feldspati (*Ib.* pag. 268). La cosa va a tal punto che sul monte della Castagna, pure a Lipari, i feldspati si trovano bensì nello obsidiane, ma svisati, e sconciati; mentre nelle pomici sono intatti, colla loro struttura lamellosa, e colla naturale trasparenza e durezza. È singolare il caso di un cristallo di feldspato, isolato nel vano di una pomice filamentosa, dove è tenuto sospeso da un fascio di fili vitrei capillari (*Ib.* pag. 303). Gli è perciò che questo principe degli osservatori pensava, forse prima che nessun altro, che i cristalli preesistevano nelle lave, e vi rimasero, non avendo potuto esser fusi da quel calore che fondeva il resto della lava (*Ib.* pag. 314). Le ragioni che si deducono ora dalla esperienza contro il supposto che i cristalli si formino nelle lave, durante il lento raffreddamanto, sono quelle stesse che adduceva l'illustre Italiano. Di qualche migliajo di lave, scriveva egli nel 1793, da me cimentate a questo fuoco (al fuoco della fornace) neppur una ha riprodotto i suoi sorli (pirosseni e cristalli in genere) nonostante che assaissime di queste lave rimaste sieno per lungo tempo nello stato di fusione, e che appositamente lasciate le abbia con somma lentezza, ed in quiete consolidarsi (*Ib.* III, pag. 149).

211. Tra i tufi di Viterbo, alla base dei Cimini, si scorgono predominanti certe scorie nere, pomicee, leggerissime, eppuro riboccanti di grossi cristalli di anfigene. Nessuno può dubitare che quelle non siano le scorie, lanciate coi lapilli, le sabbie, le ceneri, durante le eruzioni che versarono sì sterminata copia di leucitofiri, cioè di lave, a pasta tra il vitreo e il terroso, ove i cristalli di anfigene, della grossezza di una nocciuola e più, sono così pigiati, che quelle lave si direbbero un conglomerato di perfettissimi cristalli. Come spieghereste, col supposto della cristallizzazione per raffreddamento, una scoria che, lanciata in alto dal vulcano, ricade un minuto dopo tutta ingemmata di grossi cristalli? Raccolsi sulle correnti di lava nell'Eifel scorie porosissime, bollose, di quelle che si formano istantaneamente e galleggiano sulle correnti. Eppure erano straccariche, o quasi impastate di mica, in perfettissimi cristalli.

212. Ho anche citate le pioggie, le grandini di puri cristalli, lanciati dai crateri. Più volte il Vesuvio coperse il suo cono di una grandine di grossi, perfettissimi anfigeni, e sovente le sabbie del Vesuvio e dello Stromboli sono piogge di cristalli esaedrici di augite. Sono anch'essi prodotti di lento raffreddamento?

213. Ricorderò anche i molteplici e imponenti argomenti, in favore della nostra tesi, dedotti dalle accidentalità dei cristalli, nelle lave già solidificate. I cristalli sono talvolta semifusi, schiacciati, stirati, sfilacciati, contorti. La cosa si osserva principalmente nelle lave vitree, o semivitree, nelle obsidiane, nelle perliti, le quali non cessano pertanto di essere ordinariamente seminate di cristalli, e talora decisamente porfiroidi. Le retiniti, per esempio contengono talvolta cristalli di feldspato, grani di quarzo, lamelle di mica, e cristalli d'orneblenda (Zirkel, *Lehrb.* I, pag. 567): citeremo le retiniti di Sardegna e della vicina isola di San Pietro, contenenti cristalli di feldspato. Anzi le più omogenee retiniti, osservate al microscopio, rivelano una moltitudine di cristalli, involti in una pasta vitrea: ma anche la pasta vitrea, sotto forti ingrandimenti, a poco a poco si risolve in cristalli, per cui infine risulta che le retiniti non sono che aggregati di aghi cristallini (*Ib.* pag. 569). Anche l'obsidiana, oltre all'essere sovente porfiroide, contiene spesso cristalli microscopici nella pasta vitrea, benchè pare che il caso più ordinario sia quella di una assoluta omogeneità, quale si incontra nel vetro (*Ib.* II, pag. 233). Vedendo come esistano cristalli in seno alle lave vitree, e come essi cristalli siano in molte guise modificati, come abbiam detto, nel senso che risponde indubbiamente ad uno stato di semifusione; bisogna dire che i cristalli preesistevano nella lava, semifusi da quello stesso calore che bastava a fondere la parte più vetrificabile: perciò resi pastosi e molli, venivano dall'azione meccanica della corrente, laminati, stirati, tormentati in mille guise.

214. Zirkel sta per la cristallizzazione consegnente all'emissione delle lave. L'obsidiana è quindi una lava fusa, raffreddata prontamente. Riferisce come delle retiniti porfiroidi, miste cioè di parti vitree e di parti visibilmente cristalline, queste contengono particelle ben distinte di quelle. Sarebbero dunque le masse cristalline formate posteriormente alle vitree? Ma perchè allora, come dice lo stesso Zirkel, i cristalli di feldspato non sono talora netti e taglienti, ma si osserva un graduato passaggio dal vetro al cristallo feldspatico (*Lehrb.* I, pag. 570)? Si direbbe adunque che, non i cristalli si formarono nel vetro (nel quale caso dovrebbero essere spiccati, nettissimi), ma il vetro si formò nel cristallo. Vedremo più tardi come questa tesi sia sostenibile, meglio che ora non appaja a primo aspetto.

215. Le obsidiane di Teneriffa sono spesso porfiroidi, o cristalline, con cristalli di feldspato, di mica, di orneblenda. Le lamine di mica e i cristalli di feldspato mantengono la stessa direzione. Ma il mica si presenta in veri cristalli, ben definiti, esagonali, misti però a semplici lamelle micacee: il feldspato invece si presenta per lo più sotto forma di liste, spesso alquanto ripiegate, entro la pasta vitrea. Scorgonsi però anche delle strisce chiare, a contorno ben definito, romboidali, rettangolari, esaedriche, le quali risultano della unione di sottilissime lamine, che si sovrapongono. Quelle strisce pajono doversi considerare come gruppi di cristalli laminari sottilissimi di feldspato; poichè esistono feldspati che, alla luce polarizzata, si risolvono in lamelle (Fritsch e Reiss, *Geol. Beschr. d. Ins. Teneriffe*, pag. 409). Domando se qui non abbiamo tutti gli indizî di un rammollimento, di una semifusione, di una scomposizione di cristalli preesistenti? Come si spiegherebbero questi fenomeni colla teorica della cristallizzazione conseguente? Perchè il feldspato non avrebbe formato dei cristalli decisi come il mica? Riflettasi invece che, essendo il mica assai meno fusibile del feldspato, la teorica della cristallizzazione antecedente spiega benissimo la sua conservazione.

216. Quando i cristalli abbiano resistito completamente al conato di fusione, l'azione meccanica, esercitata dalla corrente sui cristalli, non manca di attestarne la

preesistenza. L'azione meccanica che un fiume, o una massa scorrente qualunque, esercita sui materiali più resistenti, o pastosi o solidi, si è già verificata nello schiacciamento, nel contorcimento, nello stiramento dei cristalli resi pastosi dal calore. Così si vede uscire a strappi, a filacce, che là si chiamano serpenti, il petrolio piceo, vischioso, condotto alla luce dal torrentello petroleifero di Tocco (Abruzzo). Se il detrito è solido, la corrente lo ottunde, lo spezza. Quante volte, nelle rocce eruttive d'ogni età si osservano nodi e sferule cristalline, in luogo di cristalli? Quante volte i cristalli sono rotti e frantumati? Agli esempi già citati aggiungerò i grossi anfigeni, che si trovano così intatti, così perfetti nel territorio romano. Eppure io conservo al Museo di Milano dei pezzi di quegli stessi leucitofiri, a cristalli ottusi, arrotondanti.

Si osservò anche come l'azione meccanica della corrente sui cristalli preesistenti si manifesta con quel parallelismo de' cristalli, orientati parallelamente ai rispettivi assi maggiori, con cui indicherebbero la direzione della corrente, che li fluitava in sospensione, entro la massa fluida, o semifluida.

Darwin giunse fino al punto di voler dimostrare una vera sedimentazione dei cristalli, che, pel loro peso, tendevano a cadere sul fondo della corrente. Cita a proposito una corrente basaltica, o piuttosto un lago di basalte, dello spessore di 200 piedi, visto nell'isola James (Gallapagos) ove i cristalli d'albite erano assai più numerosi nella parte inferiore, che nella superiore. Ricorda quindi come De Buch osservasse una corrente di obsidiana a Teneriffa, ove i cristalli di feldspato andavano spesseggiando, mano mano che guadagnavano di profondità; tanto che il fondo della corrente aveva tutto l'aspetto di una roccia primitiva, intendi cristallina, come i graniti, ecc. (*Volcanic Islands*, pag. 117).

217. Il fatto che le lave, e le rocce eruttive in genere, sgorgarono dall'interno, sotto forma di impasto cristallino, non di pasta fusa, vitrea, fu messo in dubbio, introducendosi il supposto, che l'indole litoide della maggior parte delle lave dipenda dalla loro decomposizione, da una alterazione, inesplicabile del resto, sofferta posteriormente al loro consolidamento. Ma come si spiegherebbero poi, domanda lo Scrope (*Les volcans*, pag. 335), quelle masse enormi di pomici e di obsidiane perfettamente vitree, così sviluppate nell'isola di Lipari? Come mai sono litoidi le lave vomitate ieri dal Vesuvio, e sono vitree quelle che sgorgarono a più riprese da Lipari in tempi almeno preistorici? Quando si sente un geologo meritamente stimato, come il signor Omboni, a cui non devono essere estranei i vulcani d'Italia e d'altri paesi, dire, che « *qualunque lava*... là dove è rotta da poco tempo, o non ha subìto alcuna alterazione o decomposizione, presenta *sempre* una struttura vitrea e l'apparenza di un vetro impuro, simile a quella delle scorie dei forni metallurgici (*Atti della Società Ital. di sc. nat.* Vol. X, pag. 244) »; quando lo si sente dir ciò, non si può a meno di riflettere sulla potenza che esercitano anche sugli uomini migliori le idee preconcette, potenza che si direbbe spinta fino al punto da togliere il senso della vista. Io pregherei il mio collega a scegliermi al Museo di Milano, dov'egli ha deposto il frutto delle sue fruttuose ricerche, una decina di campioni di rocce vitree o semivitree, da porsi a fronte dei mille dove non c'è idea nè di vetro nè di vetrificazione; a meno che non si muti il valore delle parole. Nè si dirà che non siano fresche le rocce estratte da cave di pietre, attivissime in tutti i distretti vulcanici, nè quelle raccolte nelle miniere, a centinaja di metri di profondità.

218. La preesistenza dei cristalli, questo stato, direbbesi, di solidità della lava, la quale non sarebbe d'ordinario per noi che un aggregato di piccoli solidi, contrasta

assai, lo intendo, con quella fluidità, talora direbbesi acquea, della lava, principalmente nell'istante che sgorga dal cratere. Noi abbiamo già risposto a tale difficoltà. Anche a voler considerare la lava come un aggregato di cristalli affatto incoerenti, chi non ha visto come le sabbie scorrevoli, e le nevi cristalline pulverulente, che franano dalle Alpi, imitino appuntino un liquido scorrente? Ma non esageriamo. Fra un aggregato di grani incoerenti e un liquido-vetro, vi sono tutte le transizioni possibili, e noi le ammettiamo tutte, perchè sono tanto lave, per noi, i graniti come le obsidiane. Noi diciamo che le lave, in quanto sono cristalline, lo sono già nell'interno, e non lo divengono poi che sono eruttate o si raffreddano. Una perfetta fusione è caso rarissimo; una semifusione è caso meno raro; la nessuna fusione è il caso più frequente, il caso ordinario. Ecco ciò che sosteniamo. Se la lava si vetrifica in tutto o in parte, abbiamo già una ragione della sua fluidità; e sono fluidissimo perciò le celebri lave vischiose di Bourbon, delle Sandwich, ecc. Se sono assolutamente cristalline, la loro fluidità sarà minima; saranno pigre e lente, come si sa di molte correnti del Vesuvio o dell'Etna, e più è attestato dallo spessore, dall'apparenza quasi di grumi giganteschi, di certe masse trachitiche. Ma ancora non è tolta a quelle lave nè una certa fluidità, per scorrere, nè una certa tenacità, per indurirsi, come scorsero e si indurirono i porfidi e i graniti più porfiroidi. Non dimentichiamo un agente, che sta per comparirci come vero agente generatore, e che può dar ragione di molti fenomeni, tra i quali io pongo appunto il moto, per gran parte, delle lave cristalline, e il loro successivo indurimento.

219. Io ho già riportate le idee del signor Scrope in proposito; ma avendo prove di essere stato frainteso, ripeterò ora letteralmente il periodo più decisivo in proposito. Dopo aver riportato diversi argomenti già da noi addotti in prova della granulazione originaria delle lave, termina così: « Toutes ces considérations m'ont conduit depuis longtemps (depuis 1825) à cette conclusion, que, dans le plus grand nombre de cas, la lave, à sa sortie d'un volcan, est déjà granulée ou composée de cristaux plus ou moins imparfaits, enveloppés dans une pâte d'un grain plus fin, mais encore minutieusement granulaire, sans être réduite à l'état de fusion moléculaire, et que sa liquidité, c'est-à-dire la mobilité des molécules solides, est du surtout à la présence d'un fluide qui remplit les interstices. Ce fluide ne peut guère être autre que cette même eau, ou plutôt que cette vapeur d'eau, tenant quelquefois en suspension plus ou moins de silex, ou autre matière minérale, que l'on voit sortir abondamment de la surface et des crevasses de lave incandescente, au moment de son exposition à l'air, et dans le fait même de la solidification (*Les volcans*, pag. 117). »

220. Per intendere come, il vapore non solo, ma l'acqua stessa, possa imprimere alla lava una grande mobilità, pensiamo che l'acqua può essere mantenuta liquida, alla temperatura d'incandescenza, come entro una *pentola papiniana*, finchè resti compressa nelle profondità terrestri. Rotta la *pentola* deve risolversi in vapore, con violenti esplosioni; ma può rimanere anche, in parte e per qualche tempo, incarcerata entro la lava, in quello stato sferoidale, segnalato da Boutigny. È pur questa un'idea di Scrope. Anche nel supposto che la lava sia (e lo è certo in molti casi) un puro impasto di grani, di piccoli solidi; ognuno potrà facilmente comprendere, come la massa debba acquistare una grande mobilità, sotto l'impulso del vapore, che tende a sprigionarsi. Le osservazioni fatte in occasione delle eruzioni, mostrano come l'acqua sia unita, immedesimata colla lava, nello stato di massima divisione; sicchè si può dire che ogni atomo di lava, deve essere sollecitato da un atomo di acqua, o di vapore acqueo, a grande tensione. Le osservazioni microsco-

piche sulle lave, confermarono questo stato di estrema divisione, fino al meraviglioso, all' incredibile. In un millimetro quadrato di lava si possono contenere 800,000 bollicine di acqua, ch è tanti sono i pori bollosi, rotondi, od ovali, che Zirkel calcolò in un millimetro quadrato di obsidiana, visto al microscopio (*Lehrb. d. Pétrographie*, II, pag. 234). Si considerino adunque le particelle, i granuli delle lave, come formanti un sistema di microscopiche caldaje a vapore, di cui il vapore stesso tende a rompere le pareti con violenza. Di qui un sistema di urti, che deve tradursi in un movimento di tutta la massa. Quelle miriadi di getti microscopici, che sfuggono attraverso quelle miriadi di granuli, urtandoli, spostandoli, deve determinare nella massa un tal brulichio, imprimerle tale movimento, che, secondato dal pendio, deve imitare, come non si potrebbe meglio, la liquidità. Quando poi, come avviene, uno degli elementi lavici si fonde, o si riduce pastoso; il movimento, che già per ciò piglierebbe la lava, sarà accresciuto e secondato dall'impulso del vapore.

221. Non è nemmeno a caso che noi abbiamo supposto, collo Scrope, lo stato sferoidale dell'acqua entro le lave. Sappiamo che l'acqua, o un liquido qualunque, versato sopra una superficie incandescente, assume la forma sferoidale: si divide cioè in goccie, le quali scorgonsi in preda ai movimenti vibratori i più vivi, oscillando, saltellando, turbinando rapidamente sopra sè stesse. Il vapore, che incessante si sviluppa dalla superficie del liquido a contatto colla superficie incandescente, è quello che mantiene al liquido stesso quel parossismo convulso. Le esperienze di Perkins e di Boutigny hanno provato quanto sia valida la forza ripulsiva, che stacca il liquido dal solido incandescente. Essa è tale da far equilibrio alla tensione del vapore ed alla forza centrifuga, indotte come forze contrarie (Daguin, *Traité de physique*, II, pag. 340-344). L' acqua supposta in condizioni analoghe, entro le lave, produrrebbe analoghi effetti; e la somma dei movimenti di tutte le sferule acquee si tradurrebbe anch'essa in un movimento di tutta la massa.

222. L' esistenza dell'acqua allo stato sferoidale, presentata da Scrope come un' ipotesi, si traduce, secondo me in un fatto. Essa è, credo, posta in evidenza da alcuni fenomeni, che parvero inesplicabili, o furono insufficientemente spiegati. Abbiamo riferito come il raffreddamento delle lave avviene incessantemente con grande sviluppo di vapori. Di tanto in tanto l'attività del vulcano sembra rivivere in seno alle lave già riversate. La lava, che scorreva o si allargava, fumante, ma tranquilla, di repente, quasi invasa da un demone occulto, si agita, si rompe, e dalle squarciature nascono dei vulcani avventizi, che alzano il loro pino e lanciano bombe, lapilli, e scorie, e sul piano della corrente ergono coni dell' altezza di 10 a 20 piedi. I mille *hornitos*, onde è irta la superficie del grande espandimento di lava del Jorullo, ebbero così origine dalla lava stessa, già espansa (*Parte prima*, § 822). Come si spiegano questi ritorni ai furori vulcanici in una lava già riversata, già al sicuro da ogni influenza del cratere? Come si spiega anche solo il copioso svolgersi dalle lave di quelle colonne di vapore, che oscurano l' orizzonte? Parebbe infatti che, in seno ad una lava incandescente, il vapore debba trovarsi a tal grado di tensione, che, appena la lava è in libera communicazione coll' atmosfera, il suo sviluppo debba essere, non solo violento, fragoroso, enorme, come si presenta infatti nel *pino* eretto al cielo nella prima esplosione, ma rapido e totale. Totale invece non è, se si svolge ancora in poderose colonne dalle correnti di lava, quanto son larghe e lunghe; se talora dà luogo a parossismi parziali in seno alle lave stesse, e dura, finchè è in moto la corrente, e scaturisce ancora per mesi e anni dalle correnti già solidificate, come avvenne del Jorullo, dalle cui lave Humboldt vedeva svolgersi abbondante il vapore, un mezzo secolo dopo l'eruzione.

Digitized by Google

Costretti dal fatto ad ammettere la diuturna permanenza del vapore acqueo nelle lave eruttate, non ci manca che di ammettere la presenza stessa dell' acqua, per avere la spiegazione dei fenomeni, che ci parvero così misteriosi. Anzi è la permanenza del vapore acqueo che costituisce uno di questi fenomeni inesplicabili, perchè non si saprebbe come esso possa rimanere incarcerato nelle lave, quando esse hanno il massimo di temperatura, per svolgersi poi, se fa uopo, dopo un mezzo secolo, mano mano che la lava va raffreddandosi. Ammesso invece che l'acqua resti allo stato liquido, sarà posta almeno la prima condizione d'uno svolgersi successivo e continuato del vapore. Ma come può l'acqua persistere allo stato liquido entro una lava incandescente, già espansa sotto la libera atmosfera?... Appunto mantenendosi allo stato sferoidale.

223. L'acqua, che indubbiamente impregna le lave, compressa nelle profondità terrestri, quasi in seno ad una storta, erompe in vapori, appena la storta si spezza. Ma si consideri come lo stesso rapido e ingente sviluppo dei vapori acquei, costituente il principale fenomeno delle eruzioni subaeree, produrrà, per necessaria conseguenza, il rapido abassamento della temperatura di una parte di quell' acqua stessa da cui svolgonsi i vapori; e ciò fino al punto che quel residuo d'acqua rimanga liquido entro la lava incandescente, ad una temperatura forse assai bassa, fors'anche a 0°. Così precisamente rimangono liquidi, o si congelano, entro il crogiuolo incandescente, l'acqua, l'acido solforoso, il mercurio, alla temperatura di — 10°, — 100° nelle celebri esperienze di Boutigny, di Faraday, ecc. Ammesso che l'acqua, nelle condizioni identiche a quelle in cui si trova nel crogiuolo incandescente, rimanga liquida, allo stato sferoidale entro la lava, nell'atto che rigurgita dal cratere; abbiamo la chiave dei fenomeni successivi. Infatti le goccie d'acqua, entro i vacui della lava incandescente, troverebbonsi letteralmente in quello stato, in cui M. Pouillet mantenne l'acqua lungo tempo perfettamente tranquilla entro un crogiuolo di platino, riscaldato fino al rosso bianco. Troverebbonsi in quello *stato sferoidale*, supposto da Scrope, pel quale è tolta l'aderenza del liquido alla superficie incandescente, impedita l'ebullizione, e resa lentissima l'evaporazione. Le più volte citate esperienze ci insegnano, che questo stato di cose dura, finchè duri la forza repulsiva del vapore. E questa forza repulsiva diminuisce, col diminuirsi della temperatura della superficie calefaciente, e cessa interamente, quando il raffreddamento è giunto ad un certo grado, diverso pei diversi liquidi. Per l'acqua, il limite inferiore della temperatura, perchè si determini la forma sferoidale in un vaso metallico, fu trovato da Boutigny a 142° cent. Le esperienze stesse ci dicono finalmente (e si badi bene a quest'ultimo fatto) che il ristabilimento del contatto, prodotto dal raffreddamento, è immediatamente salutato dalla ebollizione, e dalla violenta esplosione dei vapori. In una esperienza di Perkins, mentre tutto passava tranquillamente in un tubo di ferro arroventato, benchè ripieno di acqua, l'acqua stessa svaporò di un sol colpo, con spaventevole muggito, appena l'apparecchio discese ad un certo grado di raffreddamento. I corollarî, pel caso nostro, defluiscono ora naturalmente.

L'acqua che si svolge in vapore dalla lava che erompe, raffredda l'acqua che rimane entro la lava. Questa si mantiene liquida, allo stato sferoidale, e ha luogo un lento, ma continuo, sviluppo di vapori. Ma col successivo raffreddarsi della lava, ristabilito il contatto dell'acqua colla superficie riscaldata, l'acqua svapora. Se il numero delle bollicine evaporanti con forza è sufficiente, colonne di vapore erompono di tratto in tratto, con furore sufficiente per produrre violenti eruzioni. Tale svolgimento, ora rapido, ora lento, continua, e continuerà mesi ed anni, se mesi ed anni si richieg-

Digitized by Google

gono, perchè la massa della lava tutta si raffreddi a quel grado, che è voluto da totale svolgimento dei vapori. Così, se il supposto dell'acqua allo stato sferoidale spiega i fenomeni presentati dalle lave, la realtà di essi fenomeni traduce il supposto nella realtà di un fatto.

224. Contro la teorica esposta si possono sollevare alcune difficoltà, dedotte dallo stato di solidità, che presentano anche le rocce più decisamente, o unicamente, cristalline. Dico: si possono sollevare; perchè si sollevarono infatti, e da chi meno l'avrebbe dovuto. Il signor Omboni, nello scritto citato (*Atti della Soc. ital. d. sc. nat.*, Vol. X, pag. 245.) dice che *non vi è nulla da ridire* su quanto ammise lo Scrope fin dal 1825, che cioè nella maggior parte dei casi la lava sgorga già granulata, o composta di cristalli più o meno perfetti, avviluppati in una pasta di grani più fini, e che la sua fluidità non consiste che in una mobilità della molecole solide, dovuta alla presenza di un fluido, che ne riempie gli interstizî. Il periodo è letteralmente cavato dalle mie *Note* (*Parte prima*, § 827). Per uno che ha testè detto, che *qualunque lava... presenta sempre una struttura vitrea e l'apparenza di un vetro impuro* (Omboni, *Op. cit.*), è già un ammettere assai, assai! Ma il signor Omboni, commentando le idee di Scrope da me riferite, si affretta di avvisarci che quel tal *fluido può essere benissimo quella pasta liquida e molto molle, che diventa una specie di vetro col raffreddarsi e consolidarsi.* Poi facendomi l'onore di attribuirmi ciò che è letteralmente dello Scrope (*Vedi sopra al* § 219), di cui io non era che puro espositore (e i libri si dovrebbero leggere prima di criticare gli autori che vi si sono appoggiati), si scandalizza che io abbia detto che l'abbondanza, e la quasi esclusività del vapore acqueo nelle eruzioni vulcaniche, non lascia luogo a dubitare che il *fluido richiesto non sia lo stesso vapore acqueo.* « Dunque (esclama il signor Omboni) secondo Stoppani, una lava in atto d'uscire da un vulcano non sarebbe altro che un impasto di vapore acqueo o di cristalli e grani solidi, ossia sarebbe un *vero fango*, caldissimo. Ma, se realmente la cosa fosse così, quel fango, raffreddandosi e perdendo il vapore acqueo, dovrebbe disciogliersi in sabbia incoerente (*sic*), e non potrebbe mai conservarsi così solido, e colla struttura d'un vetro bolloso, come veramente si vede in tutte le lave (*Loc. cit.*, pag. 245) ».

Quando Scheerer osò dire al mondo intero che il granito non era originariamente che una *bouillie acqueuse* (§ 139), ebbe naturalmente ad oppositori quanti formavano le file dei plutonisti. Ma a nessuno cadde in mente (e sono anni parecchî) codesta grave difficoltà, che forse avrebbe atterrato e messo a dormire per sempre il *nettunismo* rinascente. Se il granito era una *pappa*, ammanita coll'acqua, perchè mai è ora rude macigno? Se da me, o piuttosto dallo Scrope, fosse stato detto, che le lave sono originariamente un *fango* (e quanto a me lo dico e lo sostengo) doveva proprio intendersi il fango che imbratta le vie?

225. Quanti solidissimi prodotti dell'industria non sono originariamente che fanghi, veri fanghi, cioè impasti di solidi granelli con acqua? Fango, letteralmente fango, sono gli impasti pei mattoni, per gli stucchi, pel cemento idraulico, che tanto più s'indura, quanto più rimane nell'acqua. Che vuolsi di più? non sono fanghi, nel senso più letterale, i prodotti di tante celebri eruzioni, di tanti diluvî fangosi? non sono fanghi i tufi vulcanici, i celebri piperini che prestano un materiale di costruzione così solido? È un tufo, cioè il prodotto di un diluvio fangoso, che seppellì Ercolano alla profondità di 50 a 150 piedi, e ognuna sa quanta dura roccia sia quella. Scrope assistette personalmente alla formazione di simili tufi. Le finissime ceneri del Vesuvio, dell'eruzione del 1822, spazzate da piogge torrenziali, e qua e là deposte

Digitized by Google

in forma di fango, si consolidarono, senz'altro, in roccia così dura e tenace, che, per spezzarla, ci volevano colpi di martello ben secchi (Scrope, *Les volcans*, pag. 176). Certo non era da aspettarsi che l'obiezione venisse da un geologo, il quale sa che fanghi, puri fanghi, erano in origine le marne, i grès, gli schisti argillosi, le quarziti. Si dirà che sono note (se pur lo sono in ogni caso) le ragioni per cui si indurano i cementi idraulici, i fanghi vulcanici, i sedimenti. Benissimo: ma in luogo di negare semplicemente un fatto, che risulta dalla osservazione, dovevansi cercare le ragioni del fatto. Si temerà egli di non trovare ragioni per cui un *fango*, composto di tali elementi, a così alta temperatura, qual'è una lava, si possa convertire in roccia durissima? La più plausibile si trova in quell'inciso dello Scrope, che io, non prevedendo le obiezioni, ebbi il torto di non citare allora: l'acqua e il vapore uniti alle lave, sono classificati dallo Scrope come *tenant quelquefois en suspension plus ou moins de silex, ou autre matière minérale* (§ 219). Quando si rifletta, che le lave sono composte di silicati, con certe dosi di soda e di potassa; che l'acqua, a temperatura elevata, mediante la soda e la potassa, scioglie la selce; che le acque e i vapori altamente termali dei geyser d'Islanda, delle stufe d'Ischia, delle sorgenti delle Azore e della Nuova Zelanda, tutte depongono selce, la quale incrosta e cementa quanto trova; che l'acqua delle lave è appunto altamente termale: si deve conchiudere, non solo alla probabilità, ma alla necessità che l'acqua delle lave tenga in soluzione della selce, ed altre sostanze fisse le quali, svaporando l'acqua, fungono l'ufficio di cemento. Nè l'occhio, nè la chimica potranno così facilmente distinguere un cemento, che può ridursi ad una vernice senza spessore, e che, per l'indole sua, si identifica coi minerali stessi che compongono le lave. Ma la presenza di esso cemento deve ammettersi, ripeto, come un fatto necessario, al modo stesso che, impastando un fango con acqua zuccherina o gommata, svaporata l'acqua, le particelle aderirebbero per un glutine di zucchero o di gomma; o meglio ancora, ponendo a contatto fra loro dei cristalli di zucchero, appena leggermente umettati alla superficie, aderirebbero, senza che la loro forma ne venisse alterata.

226. Conchiudendo, tutte le prove ci autorizzano ad ammettere: 1.° che le lave attuali escono dal cratere già granulate, e cristalline; 2.° che la loro mobilità è dovuta in gran parte al vapor acqueo che di continuo si svolge; 3.° che lo svolgimento del vapore, continuato dopo l'emissione delle lave, è dovuto alla presenza dell'acqua allo stato sferoidale; 4.° che nei casi di una lava nè vetrificata nè semivetrificata basta, a spiegare la coesione dei grani, la necessaria formazione di un cemento idrosiliceo.

227. Questa digressione nei campi, già percorsi, della *dinamica terrestre*, non sarà stata inopportuna, perchè diretta ad assicurare il fatto più cardinale, per l'endografia, cioè la granulazione delle lave, antecedente alla loro emissione. Provato questo fatto fondamentale, ne viene di conseguenza l'ammettere che lo stato di fusione, lo stato vitreo della lava non è punto lo stato nè necessario, e nemmeno il più normale per le lave uscenti dal cratere: è anzi uno stato eccezionale tanto che ci fa già sospettare, essere egli legato, piuttosto ad accidentali, che a sostanziali condizioni della emissione delle lave. Era necessario, dico, fissar bene questi fatti, perchè, se vi ebbero delle difficoltà ad ammettere l'identità di origine tra le lave e le rocce cristalline antiche, nacquero principalmente da ciò, che l'impasto granuloso, cristallino, dei graniti, delle dioriti, dei porfidi, ove non vi ha proprio nulla che possa, nemmen da lontano, richiamarci il vetro, si staccava assai da molte lave moderne, ove la vetrificazione o la semivetrificazione si osserva, in molti casi, assai decisa. Ammessi invece

i fatti osservati e sanciti, troviamo che le rocce cristalline antiche ritraggono le moderne lave, e mettono anzi in piena luce il fatto della granulazione interna.

228. Anzi tutto che cosa sono le rocce cristalline? Per la centesima volta, sono impasti cristallini, aggregati di cristalli. Essendo provato, nei capitoli precedenti, che uscirono dal seno della terra come le lave, che sono lave; e non essendosi potuto dimostrare in nessun modo, che un impasto di cristalli risultò dal raffreddamento di una massa vetrosa; e non essendoci nemmeno il minimo indizio di vetrosità o di fusione: bisogna conchiudere che quelle rocce cristalline, graniti, porfidi, dioriti, ecc., sono lave, che uscirono dalle viscere della terra già granulate, già cristallizzate.

229. Osservando il modo di aggregazione e la forma dei grani e dei cristalli, facilmente balzano all'occhio quegli accidenti, verificati nello lave moderne, da cui abbiamo dedotta la granulazione interna. I cristalli sono talora intatti; talora invece sono come triturati, ridotti in grani o in sferule, ecc. I cristalli di tormalina, di anfibolo, di achmite, che Scheerer (*Bull. Soc. géol.*, 2. Sér. Tom. 4, pag. 487) osservò sovente spezzati, nei graniti e i cui frantumi erano circondati di feldspato e di quarzo, esistevano già indubbiamente nel granito, quando scorreva colla fluidità della lava. Se quei cristalli si fossero formati quando il granito era in riposo, come si sarebbero spezzati? Un fenomeno sopratutto parmi assai decisivo in favore della granulazione antecedente all'emissione delle rocce cristalline.

Fu osservato che i grani cristallini, componenti i dicchi, sono più fini presso le salbande, ossia sui lati, che verso il centro. Non si saprebbe a quale altra causa attribuire la maggior finezza dei grani alle salbande, se non alla mutua frizione, la quale dovette indubbiamente essere maggiore sui lati, per effetto dell'attrito contro le pareti, che nel centro: dunque, osserva lo Scrope, le lave uscirono già granulate (*Les volcans*, pag. 120). Il fenomeno è incontestabile, e bisogna dire che si presenti ben chiaro e ben di sovente, se dovette essere osservato tanto, e da tanti. Spesse volte come accenna Naumann, i dicchi granitici sono uniformemente granulosi; ma accade anche più volte che essi si presentano in grani più grossi nel mezzo, e più fini alle salbande, cioè ai lati. È vero che lo stesso Naumann ammette, senza citare alcun esempio, che il contrario avvenga, benchè più di rado. Ma è poi esplicitamente asserito che non solo spesso la granulazione alle salbande è più minuta, ma che il granito talora vi forma una pasta compatta, omogenea, racchiudendo sovente schegge della roccia incassante (Naumann, *Lehrb.* II, pag. 227). Queste accidentalità si spiegano naturalmente assai bene, come un effetto dell'attrito della pasta granitica contro la parete, e dei grani cristallini fra loro; attrito che deve svilupparsi assai forte in quelle sotterranee densissime correnti; attrito paragonabile a quello, per cui i ciottoli si arrotondano e si convertono in ghiaja, in sabbia, in fango, e meglio ancora a quello che genera sì enormi quantità di sabbie e di ceneri vulcaniche. Anzi l'azione erosiva, che le lave scorrenti esercitano sui solidi di cui sono composte, fu già dimostrata dalle osservazioni da noi citate, in prova della granulazione delle lave (*Parte prima*, § 828); e tale azione deve svilupparsi in assai maggiori proporzioni nei dicchi, ove l'attrito è accresciuto dalla resistenza delle pareti, e dalla maggior compressione della massa scorrente.

230. Il citato Naumann raccoglie pure molti esempî, dai quali risulta che, nella gran maggioranza dei casi, le vene e i dicchi granitici constano di un granito più fino di quello che li incassa. La cosa può risolversi in un semplice fatto di priorità da parte dei graniti più grossolani, in confronto dei più fini: tanto più che citansi di-

versi casi di vene porfiroidi in graniti a pasta fina (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 230). Io ritengo però che la finezza del granito, principalmente nei piccoli dicchi, nelle semplici vene, debba ripetersi da una vera macinazione, portata dall'attrito. Ho rimarcato più volte il fatto seguente, che credo generale. Il granito porfiroide per eccellenza, detto in Lombardia *ghiandone*, è tutto reticolato da vene di granito fino, che io ritengo provengano dalle eruzioni più recenti del *miarolo* o *sanfedelino*, enorme ammasso di granito fino, che sorge a lato del ghiandone nel gruppo di montagne tra Chiavenna e Morbegno. Ma in quelle vene si rimarca una finezza di grani molto maggiore di quella che si osserva nella massa del sanfedelino, o in qualunque granito delle nostre montagne. Nelle minori vene, in quelle, per esempio, che non sorpassano i 10 centimetri di spessore, il granito è ridotto a una pasta dell'aspetto del petroselce, quasi omogenea, bianca, appena screziata in grigio da finissimi punti micacei.

Le osservazioni di Blöde sui dicchi amfibolici nei graniti di Jampol, Chomenka e Wrazlaw hanno lo stesso significato. Quei dicchi, dello spessore di 5 a 10 piedi, constano di diorite o di amfibolite granulose; ma le salbande, fino alla profondità di 2 piedi, sono schistose; sicchè il tutto si presenta talora come composto di una triplice zona, parallela alle pareti del dicco. Lo stesso fatto osservossi da Lefebvre nei dicchi dioritici dell'Egitto, e da Delesse in quelli de' Vosgi (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 403). La struttura laminare, ossia la schistosità parallela alle salbande, nei dicchi porfirici è un fenomeno frequente (Naumann, *Lehrb.*, II, 685). Che altro potrebbesi vedere in questa schistosità, se non un fenomeno di laminazione, prodotto dall'attrito della pasta eruttiva in movimento, contro le immobili pareti? Anche nei dicchi dioritici del resto si osservano e l'interclusione di frantumi della roccia incassante, e la finezza, compattezza, omogeneità comparative maggiori, sia dei lati, in confronto col mezzo, sia dei piccoli dicchi, in confronto coi grandi. Cotta dice, parlando delle dioriti di Sassonia: « I rapporti tra la compattezza e la potenza delle masse si conservano, dove occorrono più varietà distinte. Le grandi masse sono a grani grossi; i grandi dicchi, a grani fini: i piccoli dicchi sono compatti. » (Naumann, *Ib.*)

231. L'esempio più classico e più convincente di quell'azione meccanica esercitata sugli elementi componenti la lava, da cui risulta evidente la preesistenza de' cristalli, mi è or ora offerto da' miei amici Spreafico e Negri, e verrà descritto nella *Memoria* che stanno preparando sulla geologia dei dintorni di Lugano. La penisola di S. Salvatore, nella sua parte meridionale, offre, come a tutti è noto, una associazione di porfidi e di micaschisti. Partendo dal ponte di Melide per giungere a Morcote, sulla via che costeggia il lago, si contano nove dicchi di porfido, dello spessore di 7 a 30 metri che traforano verticalmente i micaschisti. Essi dicchi sono fiancheggiati da *conglomerati di frizione*, composti di frantumi di micaschisto, e grossi massi di questa roccia veggonsi impigliati nel porfido. I dicchi, alzandosi, confluiscono insieme; finchè tutti si perdono in un enorme espandimento che forma le alture della montagna, coprendo i micaschisti, i quali ne costituiscono la base. Evidentemente quei dicchi rappresentano le vie per cui i porfidi eruppero e si espansero. Ora se noi osserviamo i dicchi al basso, precisamente sulla via, li troviamo composti di porfidi verdicci, ricchi di cristalli perfettissimi di feldspato ortose, roseo, e di feldspato vitreo. Essi sono assai grossi, avendo un diametro di 2 a 3 centimetri Se osserviamo invece i porfidi a mezza montagna, dove si incontrano le parti inferiori dell'espandimento, troviamo che la roccia conserva un'identica tessitura, un identico aspetto; ma la grana del porfido è andata mano mano facendosi più fina; i cristalli non hanno più forme ben

Digitized by Google

distinte, anzi i feldspati vitrei hanno assunto la forma di grani sferoidali. A poco a poco l'aspetto decisamente porfiroide svanisce, finchè sull'alto del monte si perde, e troviamo i soliti porfidi curitici, a piccoli elementi, con immensa varietà di tinte e di struttura. Qui adunque è evidente che il porfido, uscendo dalle viscere della terra sotto forma di impasto di grossi cristalli, soffriva l'azione del mutuo attrito degli elementi fra loro, e degli stessi elementi contro la roccia incassante, sicchè usciva alla luce tutto trito e pesto.

Non si dirà che queste osservazioni contraddicono a quello che abbiamo detto testè, accennando al fatto che nei dicchi si osserva spesso una grana più minuta di quella che si verifica nelle grandi masse. Trattasi di termini relativi diversi. Tra un dicco, o la massa che immediatamente se ne espande, la grossezza e la conservazione dei cristalli sarà pel dicco, in confronto colla massa. Trattasi in fatti di un processo progressivo di erosione, che comincia nel dicco, e termina nella massa espansa. Se confrontiamo invece dicco con dicco, starà quanto ha osservato Cotta (§ 230) che i grandi dicchi avranno una grana più grossa dei piccoli dicchi. In questi ultimi l'attrito deve essere talmente forte che gli elementi siano stritolati fino al punto da risultarne, come osservò pure Cotta, una roccia compatta.

232. L'argomento, in favore della cristallizzazione interna, da noi dedotto dal sensibile parallelismo dei cristalli nelle lave porfiroidi, si verifica in tutte le rocce porfiroidi antiche. Sono principalmente le rocce a grandi feldspati, come la trachite del Drackenfels (Siebengebirge), o a lunghi amfiboli, come certe varietà dei porfidi di Gandino, che mi mostrarono il fenomeno spiccatissimo. Basta che la lava abbia corso, non come corrente, ma come semplice espandimento; perchè si avveri questo minimo tra gli effetti meccanici delle correnti, l'orientazione dei corpi fluitati, galleggianti o in sospensione, parallamente alla direzione della corrente. Perciò anche i graniti, i quali, come ancor meglio proveremo in seguito, rappresentano semplici espandimenti sottomarini, presentano il fenomeno del parallelismo dei cristalli tanto bene, quanto le lave di Teneriffa, dell'Ascensione, delle Ande, osservate da De Buck, da Darwin, da Forbes (*Parte prima*, § 829).

233. Il segreto per cui sono celebri, anzi unici, i cavatori lombardi, i quali da tempo immemorabile si trasmettono il ciclopico privilegio di spiccare dal rude monte i monoliti, stupendi per mole del pari che per regolarità di forme, sta nella cognizione di questo semplice fatto: che i cristalli (intendo in modo speciale i feldspati) sono disposti sovra altrettanti piani paralleli, per cui è agevole il fendere i graniti in lamine o in masse prismatiche, le cui facce sono parallele a' detti piani, i quali si presentano come altrettanti piani di clivaggio. Faccio osservare che tale clivaggio non ha niente a che fare col clivaggio prismatico o basaltico, il quale, come vedremo, invece ne dipende. È un modo di clivaggio molto affine al clivaggio dei cristalli, sicchè la roccia si fende a preferenza in un verso, stante la disposizione dei cristalli che la compongono, come i cristalli, per la disposizione delle molecole cristalline. Tanto sul lago di Como, ove si lavorano il *ghiandone* e il *sanfedelino*, quanto sul Lago Maggiore, ove si scavano i *miaroli* di Baveno o di Montorfano ho trovato nel linguaggio tecnico, espressi gli stessi fatti. Come ho già accennato altra fiata (*Parte prima*, § 829) indicano col nome di *pieuda* (è anche il nome lombardo di una qualunque pietra laminare) o di *filo mastro* il verso in cui si determinano artificialmente i piani paralleli di spezzatura, o meglio di divisione. Con quello di *trincant* indicano invece il verso normale ad essi piani, ove il pezzo veramente si spezza, non si divide. Lo scalpellino, che vuol dividere in pezzi lavorabili un masso di

granito qualunque, spiata la direzione dei feldspati, arma il pezzo tutto all'ingiro di cunei di ferro, disposti tutti sopra l'istesso piano, parallelo all'asse maggiore dei cristalli. Quando i cunei sono tutti ben assicurati, a colpi di mazza, entro il granito, lo scalpellino si ritira e lascia, come egli si esprime, il pezzo *riposare*. La mutua reazione tra i due corpi, sufficientemente elastici, cioè tra il granito e il cuneo, esercitandosi, lenta ma potente, normalmente al piano di contatto delle pagine cristalline, lo obbliga a distaccarsi. Il crepitio del masso accusa il lento, ma energico lavoro. I colpi di mazza sui cunei e i periodi di riposo si alternano quante volte faccia bisogno, finchè senza urto, senza spezzatura, senza guasto, una tavola di 100 metri quadrati si trova divisa in due lamine d'una regolarità perfetta. Ciò che si ottiene, lavorando parallelamente ai piani, ove i cristalli unicamente si toccano, non si otterrebbe, operando in direzione a piani ideali, perpendicolari ai primi, ove i cristalli, essendo, come direbbesi, calettati, e formando un traliccio, bisogna spezzarli, in luogo di separarli.

234. Lo roece cristalline, come le lave, e appunto perchè lave, furono eruttate dagli antichi vulcani, o subaerei o sottomarini già granulate, già cristallizzate. Sono magma acquei, cristallini, concepiti in seno alla terra, quali ei si mostrano, salvo quelle modificazioni subite posteriormente, colle quali però la granulazione non ha nulla a che fare.

È questa la tesi da me sostenuta nella *dinamica terrestre*, che incontrò più viva, come dissi, la ritrosia di alcuni, e sarà ancora combattuta da molti, forse dai più. Dominati dall'idea della fusione, non vedono e non vogliono vedere nelle lave che liquidi vetri riversantisi da una fornace. Non potendo negare, che i caratteri del novantanove per cento delle lave e delle roecce cristalline costituiscono quanto si può definire come una negazione della vetrosità; i plutonisti puri immaginarono dei processi elettivi, che si attivassero durante il raffreddamento. Quando poi si era a dimostrare come ciò avvenisse, si smarrivano affatto; poichè l'esperienza si ostinava a non volere mai dar nulla, per mezzo della fusione, che si assomigliasse ad una lava. Eppure, se la cosa era possibile, si sarebbe riprodotta le mille e le mille volte; poichè non v'ha, ripeto, sostanza o miscela fusibile, che l'industria non fonda incessantemente a ogni passo. Una volta invece ammesso, ciò che l'osservazione ci obbliga ad ammettere, che le lave escono già cristallizzate, se il geologo non poteva spiegare il mistero di tale interna generazione, almeno non era costretto a trovarsi in contraddizione coi fatti; poichè essi erano sottratti alla osservazione. Gli rimaneva però l'esperienza, e questa fu tentata, e le tenebre cominciarono a diradarsi. È mirabile come a una tesi messa in campo da Scrope, e da me sostenuta, in base alla semplice osservazione, rispose, con perfetto accordo, l'esperienza.

La portata degli esperimenti intrapresi con tanto esito specialmente da Daubrée, per la produzione dei minerali nell'acqua ad alte temperature e corrispondenti pressioni, è assai maggiore di quanto altri si immagina. Quelle esperienze furono tentate in vista della questione del *metamorfismo*, che si volle troppo isolare dalla questione d'*origine*. Spero di poter dimostrare come, ad un certo punto, le due questioni, della trasformazione e della genesi delle rocce, si fondano in una sola, là dove i fenomeni genetici e i fenomeni metamorfici perfettamente si identificano. Arrestandoci intanto alla sola questione d'origine, vediamo come sia vero avere Daubrée, per via sperimentale, ottenuto ciò che Scrope osservava veramente prodursi dalla natura.

235. Per riprodurre ciò che produce natura, bisognava porsi nelle stesse condizioni in cui natura produce: combinare, in presenza dei diversi elementi minerali,

acque, alte temperature, ingenti pressioni. Un apparato qualunque, in cui si verifichino le suddette condizioni, sarà un piccolo, ma fedele *fac-simile* dell'interno del globo. Tale è l'apparato di Daubrée. Un tubo di vetro, contenente acqua con minerali diversi, secondo le diverse esperienze, suggellato al cannello. Il tubo di vetro è chiuso in un tubo robustissimo di ferro, chiuso con tampone di ferro, immedesimato col tubo. L'intervallo tra il tubo di vetro e il cannone di ferro è pure occupato dall'acqua. Se io riscaldo l'apparato, ognun vede che la tensione del vapore prodotto nell'interno del tubo di vetro, e che ne produrrebbe lo scoppio, è equilibrato perfettamente dal vapore che si produce nell'intervallo esterno allo stesso tubo di vetro, che non può quindi spezzarsi, rimanendo la somma delle tensioni a carico del cannone di ferro, costrutto in guisa da sopportarle. Ora che il grande apparato tellurico è così ben tradotto, a piccola scala, nell'apparato di Daubrée, vediamo i prodotti, certo microscopici in confronto come microscopico è l'apparato, ma non perciò di meno identica natura.

236. Il vetro ordinario offre già per sè tutti gli elementi che entrano più comunemente nella composizione delle rocce cristalline, nominatamente delle rocce granitiche, delle rocce pirosseniche. I vetri ordinarî incolori constano di silicati doppî di calce, di potassa o di soda. I vetri ordinarî colorati, o vetri da bottiglie, sono silicati multipli di calce, ossido di ferro, allumina, potassa o soda (Regnault, *Cours élem. de chimie*, II, § 670). Nell'apparato di Daubrée, riscaldato fino al rosso oscuro, il vetro ordinario è profondamente modificato in capo a pochi giorni, e dà luogo, secondo i casi, fino a tre diversi prodotti: 1.° Una massa bianca, opaca, porosa, fibrosa, che allappa. È una porzione di vetro, che è diminuita notabilmente di peso, perdendo circa la metà della selce e un terzo dell'alcali; onde la nascita di un nuovo silicato, che ha fissato dell'acqua, e si riporta, per la sua composizione, alla famiglia delle zeoliti. 2.° Un silicato alcalino che si sciolse, traendo seco dell'allumina. 3.° Innumerevoli cristalli bipiramidali di quarzo, alcuni dei quali attingono due millimetri di lunghezza in meno di un mese. Essi si presentano talora isolati nella pasta opaca; talora impiantati sulle pareti del tubo, in forma di druse, che non saprebbonsi distinguere da quelle, che si presentano così sovente nelle rocce cristalline (Daubrée, *Rapport sur les progrés* etc., pag. 77). Se non possiam dire di aver prodotto un granito, certo ci troviam qui qualche cosa che gli si avvicina d'assai. Ad ogni modo eccoci in possesso di due fatti i quali possono aversi per una dimostrazione completa della tesi della *granulazione delle lave* da noi sostenuta: 1.° In presenza dell'acqua, ad alta temperatura, sotto forte pressione, invece di una *vetrificazione*, ha luogo una vera *devetrificazione*. Le lave adunque non possono essere originariamente fuse, vitree perchè nessuno può negare che non siano generate in presenza dell'acqua, che tutte le penetra, e le imbeve. 2.° Non col raffreddamento, ma col riscaldamento, si formano, in circostanze date, i cristalli. Che cosa formossi infine nell'apparato di Daubrée, se non un *magma acqueo, granuloso e cristallino*, quanto risponde alla migliore, come alla più generale definizione di tutte le rocce eruttive? Talora, dice Daubrée, il tubo di vetro è in certo modo scomparso: ei s'è trasformato in una specie di fango che presenta (è sempre Daubrée che parla) probabilmente una grande analogia di consistenza e di composizione collo stato originario di certe rocce eruttive (*Rapport sur les progrés*, etc. pag. 84). La cosa è tanto vera che operando sull'*obsidiana*, sempre nell'identico apparato, Daubrée la vide trasformarsi in una massa grigia, confusamente cristallina, avente l'aspetto di una trachite a grana fina. Sicchè d'ora in avanti sarà molto più problematica l'esistenza delle

obsidiane e in genere delle lave fuse, se altre ce n'hanno, che quella delle lave cristalline communi.

237. Oltre al quarzo, ed ai silicati di cui s'è fatta menzione, si videro *n* volte n volte comparire nell'apparato di Daubrée altri minerali, fra i quali non tarderete a riconoscere i principali componenti delle rocce eruttive.

Operando sempre sui vetri, vidersi nascere numerosissimi cristalli di *pirosseno.* Essi erano precisamente impiantati in quella massa bianca, risultato della decomposizione del tubo; sicchè contemporaneamente due minerali in cristalli, una pasta zeolitica, un silicato sciolto, che può servir di cemento quando l'acqua svapori. Il caolino, trattato coll'acqua termale di Plombière, ricca di silicati di soda e di potassa, trasformossi in una massa di cristalli, che vogliansi ritenere di *feldspato.* Dall'argilla di *Klingenberb*, nacquero delle pagliette bianche, perlacee, fulgenti, esagonali, insomma di *mica.*

238. Come ognun vede sono tre le tesi fondamentali che si possono ritenere dimostrate, dietro i meravigliosi risultati delle esperienze di Daubrée; e in queste tre tesi stanno le ragioni della genesi delle lave.

1.° I minerali, costituenti le lave, si formano per via umida, mediante l'associazione degli elementi preesistenti, disciolti dall'acqua ad alta temperatura e sotto forte pressione.

2.° Diversi minerali si formano, o successivamente o contemporaneamente, nella stessa soluzione, rimanendo aggregati, senza confondersi, entro il residuo dell'acqua, o piuttosto della soluzione acquosa, e costituiscono dei magma cristallini, che possono essere respinti al diffuori sotto forma di lave.

3.° La temperatura di soluzione dei diversi minerali lavici è diversa, e, in genere, assai minore della temperatura di fusione.

4.° L'ordine dei minerali stabilito per rapporto alla loro temperatura di fusione, è diverso da quello che si può stabilire sulla loro temperatura di soluzione, fino al punto che si verifica una perfetta inversione.

Quest'ultima proposizione non è dimostrata direttamente dalle esperienze di Daubrée, ma lo è indirettamente in quanto le osservazioni da cui risulta sono apprezziate e interpretate in base ad esse esperienze. Le osservazioni di Scheerer servono mirabilmente a riprova, di questa non solo, ma di tutte le proposizioni qui emesse. Ci sciolgono anche il dubbio lasciatoci dalla esperienza, ed espresso nella 2ª tesi, dimostrando come, certamente nelle rocce granitiche, e assai probabilmente in tutte le rocce eruttive, la formazione dei diversi minerali è successiva.

239. Breislak aveva detto nel 1822, e Fuchs aveva ripetuto nel 1844 (*Bull. soc. géol.* 2 sér. tom. 4, pag. 477), che era impossibile spiegare, come, ammessa la fusione ignea dei graniti e ammesso che i cristalli, ond'è composto, si formino mano mano che avviene il raffreddamento, si trovino associati così intimamente un minerale quasi infusibile, come è il quarzo, e un altro difficilmente fusibile, come è il mica, e un terzo facilmente fusibile, quale è il feldspato. Il quarzo, secondo Scheerer si fonde a 2570° C. e la selce tra i 2500° e i 3100°. Per quanto vecchia quella objezione, e per quanto la scienza abbia progredito dappoi, una risposta non s'è ancora trovata: e non si troverà giammai, perchè non si dimostra l'impossibile. Scheerer rese ancor più affilata quella obiezione, dimostrando come i graniti di Norvegia (potremmo dire i graniti di tutto il mondo, specialmente i porfiroidi) mettano in tutta evidenza il fatto che il progresso della cristallizzazione avvenne precisamente nell'ordine inverso a quello voluto dall'ipotesi della fusione ignea, sicchè prima consolidossi il minerale più

fusibile, cioè il feldspato, quindi il meno fusibile, il mica, ultimo il quasi infusibile, il quarzo. Potrebbe consolidarsi la cera in mezzo al piombo liquefatto? Ecco le parole di Scheerer: « Quelle parti di granito, le quali, nell'isola d'Hitteröe, prendono l'aspetto dei filoni, interessano sommamente a ragione sopratutto della luce che irradiano sulla formazione successiva dei diversi elementi che le compongono. Qui infatti si può riconoscere ovunque con sicurezza che il feldspato solidificossi prima del mica e del quarzo. Il primo comincia ad appropriarsi tutto lo spazio necessario al pieno sviluppo de'suoi cristalli: le lamine di mica sono ripiegate e contorte al suo contatto; si inchinano, per dir così, davanti la sua partenza; mentre il quarzo, amorfo, come è facile convincersene, è ridotto ad occupare i vacui che rimangono ancora, dopo l'invasione de'suoi antagonisti. Il granito grafico, che vi si incontra talora, ci presenta un quadro assai istruttivo della lotta tra due sostanze, insieme mescolate entro un liquido, ove ciascuna pretende al diritto di priorità nella cristallizzazione: ma chi la vince è sempre il feldspato. Malgrado la presenza di numerose particelle di quarzo nel suo interno, il feldspato riesce pur sempre a svilupparo completamente i suoi cristalli, così grandi, che talora attingono la potenza di un piede cubico, a spigoli così decisi. Il quarzo invece, pigiato da tutte le parti, è gran che se arriva a vestire forme che si rassomiglino da lontano a cristalli compressi e contorti. Si possono esigere fatti più evidenti per provare che il quarzo era ancor liquido, o almeno pastoso, quando il feldspato era già in via di cristallizzarsi?.... Se le teorie della cristallizzazione per semplice raffreddamento fossero vere, si dovrebbero trovare ovunque, nelle rocce cristalline, il quarzo ben sviluppato in cristalli, e il feldspato schiacciato, e ridotto a far le parti di riempimento. Ma, siccome si verifica precisamente il contrario, così ci abbiamo una prova meravigliosa di una verità, che non può essere apprezzata abbastanza, ed è questa: che il fuoco (diremo la temperatura) non ha da solo operato tutte le meraviglie nella formazione delle rocce primitive; e che il concetto più giusto che noi possiamo formarci sull'origine di quelle rocce è quello che attribuirebbe ai due elementi, acqua e fuoco, una eguale potenza creatrice (Scheerer, *Bull. Soc. géol.*, 2 sér., tom. 4, pag. 478).

240. Qui l'Autore continua a dimostrare come nei graniti, pigliasi tanto i minerali costitutivi, quanto gli accidentali, l'ordine cronologico della cristallizzazione è quasi assolutamente inverso di quello che si otterrebbe col raffreddamento, e aggiunge a riprova le seguenti osservazioni di Boucheporn (*Études sur l'histoire de la terre*, Paris, 1844, pag. 216. « In nessun luogo, dice Boucheporn, i varî graniti presentano un cristallo di quarzo incassato nella pasta feldspatica. Chi invece non rimarcò i cristalli di tormalina, a facce lisce e brillanti, i prismi di feldspato, il granato poliedrico, le stesse esili laminette di mica, incassati nel quarzo jalino, o in una pasta quarzo-feldspatica, che si è modellata esattamente su quelle forme regolari? » Mi permetterò di aggiungere che sarebbe strano davvero che il quarzo, dovendo consolidarsi più prontamente degli altri minerali, dovesse lasciarsi soverchiare da tutti, mentre li vince pur tutti in quello che si direbbe vigore di cristallizzazione. Il quarzo, cristallino per eccellenza, capace di individuarsi in que' colossali cristalli, che vantano fino a 6 decimetri di altezza, perchè vorrebbe cotanto impiccolirsi, frazionarsi, occupare nelle rocce un posto così subalterno, se non fosse prevenuto dalla cristallizzazione degli altri elementi, i quali ne usurparono il posto? Le druse dei graniti, e di tutte le rocce quarzifere, tapezzate di cristalli sì voluminosi e perfetti di quarzo, ci dicono chiaro che il quarzo non si forma in cristalli, se non là, dove non trova occupato il posto da altre solide sostanze. A riempimenti

di druse dovono probabilmente riferirsi quei casi, del resto eccezionali, in cui il quarzo trovasi perfettamente cristallizzato nelle rocce feldspatiche. Lo stesso Scheerer infatti accusa d'aver trovato dei cristalli di quarzo completi in una massa feldspatica; ma avverte precisamente come quella massa feldspatica si presentava come una specie di mandorla granitica, secretata in seno al gneiss.

241. Chiunque non sia assolutamente servo di antichi pregiudizî deve sentire che qui la dimostrazione è ridotta all'evidenza; e sono i fatti, non le opinioni, che si impongono, e atterrano le vecchie idee.

Finchè si ripeteva la formazione delle rocce cristalline da una fusione vitrea, seguita da una cristallizzazione per lento raffreddamento; non si faceva che ammassare problemi insolubili e contraddizioni. Molte ne accennammo; ma giovi ancor questa. Come si spiegherebbero quei cristalli di anfigene, spesso così voluminosi, i quali, come osserva Daubrée, vedonsi, nelle lave d'Italia, impastare numerosi cristalli di pirosseno? L'anfigeno è un minerale infusibile, mentre noto è il grado di fusibilità del pirosseno. Perchè i cristalli di pirosseno si allogassero entro il cristallo di anfigene, bisognerebbe ammettere che quelli si fossero consolidati ad una temperatura che teneva questo in fusione. Sarebbe un pretendere che la cera si solidificasse entro la liquida ghisa.

La contraddizione scompare colla teorica da noi adottata. L'esperienza ci mostra come la scala della fusione non corrisponda punto a quella della soluzione nell'acqua nelle condizioni più volte espresse: ci mostra di più come la temperatura esatta per la soluzione in date circostanze, sia molto inferiore a quella voluta per la fusione. Così si forma per soluzione il quarzo, minerale infusibile, al semplice calor rosso oscuro.

242. Ma il fenomeno più interessante, il fenomeno capitale per la geologia endografica, il quale non saprebbesi in nessun modo nè ottenere nè spiegare colla fusione, consiste nella formazione, diciamo meglio nella consolidazione e cristallizzazione simultanea di diversi minerali, nelle stesse condizioni d'ambiente, di temperatura, di pressione. L'ho detto fatto cardinale per la geologia endografica, perchè l'unico in cui trovino un riscontro quelle smisurate masse di terreni eruttivi, che, sgorgati dalle viscere della terra, ne costituiscono per ben la metà visibile della sua crosta. Nell'apparato di Daubrée troviamo cristallizzati, o sparsi in granuli cristallini, nella stessa acqua, alla stessa temperatura, sotto la stessa pressione; il quarzo giudicato infusibile; i silicati magnesiaci, come il pirosseno, che talora si cristallizzano per semplice fusione; i silicati alluminosi, come il feldspato, che, fondendosi, si vetrificano; i silicati idrati, come le zeoliti; gli anidri, come il pirosseno.

Ecco come si è fatta la luce su quelle misteriose associazioni di minerali in cristalli, di così diversa natura, che sembravano doversi escludere a vicenda, a qualunque processo si avesse ricorso per ottenerli. Così troviamo insieme disciolti i minerali che erano e sono detti insolubili; così insieme associati i minerali fusibili con quelli che son detti infusibili; così finalmente si spiegano le misteriose associazioni del quarzo, del peridoto, degli anfigeni, coi feldspati e coi pirosseni.

243. Le esperienze di Daubrée hanno gettato pure una gran luce sull'indole e sulla origine delle serpentine, a piena conferma, secondo me, delle tesi emesse circa l'origine interna delle lave. Le serpentine e le rocce serpentinose, figurano nei cataloghi con brevissima serie di nomi; anzi in alcuni sono ridotti all'unico nome di *serpentino*. Costituiscono una poco studiata, ma numerosa famiglia, che, disseminata a dovizie in mille parti del globo, svariatissima nelle sue forme, può tener

Digitized by Google

testa, per importanza, agli altri gruppi di rocce cristalline, alle rocce granitiche, alle rocce porfiriche, ecc. Noi abbiamo già dimostrato come, attenendoci agli argomenti geologici, i serpentini in genere sono rocce eruttive, sono lave. Le esperienze di Daubrée confermano questo modo di vedere; mostrandoci in pari tempo, come le rocce serpentinose, in confronto delle altre lave, non hanno di proprio se non quanto distingue ciascun gruppo di rocce eruttive da ciascun altro, cioè le proprietà mineralogiche.

Le esperienze di Daubrée sul serpentino consistono semplicemente nell'averne operato la fusione entro un crogiuolo. Dopo il raffreddamento la massa consisteva di peridoto e d'enstatite. Evidentemente il serpentino non è che il peridoto idrato. Osserva infatti Daubrée, come già in natura si osservano degli insensibili passaggi tra il peridoto e il serpentino. La *dunite*, scoperta da Hochstetter nelle montagne del Dun (N. Zelanda) è una vera roccia di peridoto granuloso, con grani di ferro cromato. Ma la *lherzolite* de' Pirenei la quale, come roccia tipica, consta di una miscela di peridoto, di pirosseno, e di enstatite, offre una varietà serpentinosa.

244. I serpentini, o piuttosto le rocce serpentinose, entrano così nella grande famiglia delle rocce vulcaniche, e accrescono solidità alle principali tesi che ne riguardano l'origine. Noi richiameremo un'altra volta infatti come l'acqua sia il primario agente del vulcanismo, e come le lave siano generate nell'interno del globo in forma di magma acqueo cristallino. La fusione vitrea ha però luogo, benchè in via eccezionale, ed è rappresentata nella sua massima realtà dalle obsidiane. Badiamo bene però al fatto che la fusione vitrea riguarda specialmente i silicati alluminosi, cui soltanto abbiamo finora presi di mira, perchè ne è composta la maggior parte delle rocce eruttive. Parlandosi di pretti silicati magnesiaci lo stato che risponde alla semplice fusione, ossia alla fusione a secco, è quella precisamente del peridoto cristallino, granuloso, come lo mostrano ancora le esperienze di Daubrée. Per la ragione stessa che sono eccezionali le obsidiane, devono essere eccezionali le rocce di peridoto. Al contrario la forma ordinaria delle lave magnesiache deve essere la serpentinosa, come quella che rappresenta l'effetto dell'idratazione vulcanica dei silicati magnesiaci, al modo stesso che le lave ordinarie, i porfidi, i graniti, rappresentano l'effetto dell'idratazione vulcanica dei silicati alluminosi.

245. Io non tocco la questione se, come lo vuole Daubrée, il peridoto, sepolto nel più profondo delle viscere terrestri, rappresenti la prima scoria, formatasi per via secca sulla superficie del globo, prima che l'acqua, sospesa tutta nell'atmosfera, cominciasse a fungere l'ufficio di solvente universale. Io non mi accosto che molto restio a queste questioni di genesi primitiva, ove la mente sente di vagolare ancora pei campi del fantastico, e dell'indeterminato. Io mi trasporto invece sempre a quell'epoca in cui la terra era costituita presso a poco come oggi, co'suoi continenti, coi suoi mari rigurgitanti di vita o co' suoi vulcani erompenti dalle spaccature di una crosta resa già robusta dalla sovrapposizione di solidi strati. Io non credo che la geologia positiva possa finora trascendere questi limiti, entro i quali però si terrebbero pure le rocce azoiche stratificate o non stratificate. Tenendomi dunque entro questi limiti, una volta che i vulcani erano in funzione, dovevano eruttare o silicati alluminosi idrati, o silicati magnesiaci idrati; o lave o serpentini: eccezionalmente poi dovevano formarsi obsidiane, retiniti, sferoliti, perliti, e duniti.

IX. La fusione delle rocce eruttive dimostrata come fenomeno esterno, conseguente alla loro emissione.

246. Le ultime frasi del *Capitolo* precedente ci rivelano una lacuna, un difetto della esposta teorica, che, se non fosse emendato, si erigerebbe come obiezione permanente contro la teorica stessa. Se le lave, cioè le rocce cristalline antiche e moderne, i graniti come i basalti, le trachiti, gli augitofiri e i leucitofiri, sono magma acquei, granulati e cristallizzati nell' interno, poi eruttati all' esterno; se questa è

appunto, come lo provano le esperienze di Daubrée, la virtù dell'acqua ad alta temperatura e sotto forti pressioni, di granulare e di cristallizzare, in luogo di fondere; perchè esistono lave fuse e vetrificate, o semifuse e semivetrificate? La fusione dei silicati alluminosi sarebbe un risultato della via secca; sarebbe quindi una esclusione della via umida, una negazione della presenza dell'acqua o del vapore acqueo. Dopo quanto s'è detto sulla circolazione sotterranea delle acque (*Parte prima* Cap. XXIII), e sopratutto sulla assoluta preminenza dell'acqua come primario agente nei fenomeni vulcanici (*Ib.* Cap. XXXVII), si può supporre che, in nessun caso, l'acqua non faccia atto di presenza nelle storte interne, dove si elaborano le lave? Avrei potuto, credo legittimamente, schivarmi dell'entrare in questione, e rispondere all'antico adagio, che ogni regola ha le sue eccezioni: che le eccezioni non infermano la regola, quando la regola è dimostrata: che al postutto, se vi sono lave fuse, bisogna ammettere che, in via eccezionale, l'acqua mancò di far atto di presenza nella storta, ove si ammanivano le lave.

Io avrei così soddisfatto al cómpito mio; ma non soddisfatto a me stesso, nè a quanti sentono il peso della difficoltà. Convinto della quasi impossibilità che l'acqua non si trovi presente ovunque, fin là almeno dove hanno sede i fenomeni vulcanici, di cui l'acqua figura come il primario fattore, sentiva come la teorica della formazione e granulazione interna delle lave, per mezzo dell'acqua, non poteva tenersi pienamente dimostrata, finchè si potesse ritenere che le lave venissero talora, nell'interno stesso del globo, fuse e vetrificate.

247. Mi domandai adunque: i vulcani possono produrre, o produssero realmente lave fuse? Quelle che esistono realmente fuse, o semifuse, furono esse realmente eruttate dei vulcani in quello stato, in cui le vediamo attualmente? Queste sole domande urtano talmente contro le convinzioni più profondamente radicate, che il solo dubitare della possibilità di una risposta negativa, può sembrare una eccentrità. Ma, che fare? si ammettono ora tanti veri, che, pensati in origine, parvero stranezze!.. E lo erano soltanto a fronte di pregiudizî inveterati, che davano al vero faccia di menzogna. Poche idee (per non dirlo errori) son più radicate di questa che le lave siano materie fuse. Trova già gravi difficoltà a farsi strada l'idea della granulazione delle lave, antecedente alla emissione, espressa da Spallanzani, da Darwin, da Sorope, o basata su tanti fatti certissimi: che sarà dunque quando io metta in dubbio la fusione antecedente di esse lave, anche nei casi in cui questa fusione è innegabile? Che sarà quando io dichiari di intendere le cose precisamente al rovescio di quanto fu creduto fin qui?

248. Fin qui infatti si riteneva, che lo stato di fusione fosse lo stato originario delle lave, quello stato in cui vengono rigettate dai vulcani, e che la loro granulazione o cristallizzazione avesse luogo dappoi, per effetto di un lento raffreddamento. Anche quelli che ammisero la granulazione antecedente alla emissione riconobbero nelle lave granulate la regola, nelle fuse o semifuse la eccezione; non sospettando forse mai, che la fusione o semifusione non fossero già una eccezione alla regola, che vuole tutte le lave originariamente granulate, ma un modo eccezionale di comportarsi in contatto colla atmosfera. Io invece ammetterei, che il fatto della granulazione interna delle lave, non tollera forse nessuna eccezione; mentre la loro fusione è un fenomeno esterno, è una conseguenza della loro emissione sotto la libera atmosfera.

I plutonisti della vecchia scuola sostennero per le lave la fusione *antecedente*, la granulazione *conseguente*; la fusione *interna*, la granulazione *esterna*: io invece sostengo la fusione *conseguente*, la granulazione *antecedente*; la fusione *esterna*, la

granulazione *interna*. La granulazione antecedente e interna fu dimostrata nel capitolo precedente: il presente capitolo è diretto a dimostrare essere la *fusione* un fenomeno *conseguente* ed *esterno*.

Trattandosi di una tesi nuova (almeno io non la trovai da altri enunciata o sostenuta) prevedo che avremo a lamentare la scarsezza dei documenti a cui appoggiarla. Si deve al tempo e alla discussione la copia dei fatti con cui si può dimostrare o combattere una tesi; poichè i fatti d'ordinario si rivelano al geologo, quando le osservazioni sono condotte sotto un certo punto di vista.

È poi la fortuna, il privilegio delle cose vere, che, appena siano enunciate, moltiplicano, creano, per dir così, con prodigiosa rapidità, quei fatti in cui la verità si traduce. Quei fatti esistevano già; ma erano muti, invisibili, perchè non si era trovata ancora la chiave della loro favella, e perchè, anche l'osservatore più oculato, ha spesso bisogno di conoscere colla mente, prima di osservare cogli occhi. Fondando adunque la mia tesi sopra alcune osservazioni generali, e sopra un piccol numero di fatti, spero che i geologi, quelli si intende che non vorranno condannare un reo ingiudicato, troveranno presto, se la mia tesi è vera, un assai maggior numero di fatti per sostenerla, ad onta di idee così radicate in contrario.

249. Il mio punto di partenza fu affatto razionale; fu cioè una deduzione riflessa dai fatti, i quali dimostrano, come la granulazione delle lave, in seno alla terra, avviene in virtù dell'acqua, portata ad alta temperatura, sotto forte pressione. Dal momento, io dissi, che la granulazione delle lave ha luogo per l'azione dell' acqua, mantenuta sotto forte pressione; tolta la pressione, e quindi la condizione della permanenza dell'acqua, ad alta temperatura, sono tolte le condizioni della cristallizzazione. Che ne avverrà dunque?

Rifletto che la temperatura è sempre l'agente, o dirò meglio, la condizione di tutti i fenomeni chimici; quindi dei fenomeni genetici, che hanno luogo per la combinazione dei diversi elementi. Solo questi fenomeni sono diversi, secondochè la temperatura opera in presenza di diversi elementi. La *via secca* e la *via umida* non sono, propriamente parlando, due vie. Sulla via secca non si verifica che un accidente negativo, cioè l'assenza dell'acqua, la quale è invece presente sulla via umida. Sono sempre gli stessi elementi, che si combinano, con o senza acqua.

Gli stessi elementi, costituenti le lave, sotto alta temperatura, o si combinano in forme cristalline, e danno luogo a miscele cristalline, se l'acqua è presente; o si fondono in una pasta commune, in un minerale amorfo, in un vetro, se l'acqua manca. L'uno e l'altro vero sono provati dall' esperienza. Ma quest'acqua, nel caso pratico, cioè nella formazione delle lave, non può agire ad alta temperatura, e sotto pressione corrispondente, se non in quanto è chiusa nell'interno del globo, quasi entro una storta, o meglio dentro l' apparato di Daubrée. Rotta la storta, l'acqua sfugge prontamente. La granulazione delle lave non può quindi essere fenomeno subatmosferico.

250. Quanto alla temperatura, non sappiamo precisamente come opererebbe sola, senza l'acqua presente, sotto forti pressioni. Io non conosco esperienze in proposito. Sappiamo però ciò che meglio ci importa di sapere. Sappiamo cioè come, sotto la semplice pressione atmosferica, l'alta temperatura esercitata sopra gli elementi costitutivi delle lave, sopra le lave stesse, antiche o moderne, vetrifica. La vetrificazione adunque, se può essere fenomeno interno, è però certamente (e l'esperienza di tutti i luoghi e di tutti i tempi lo attestano) fenomeno esterno, fenomeno subaereo. Per ottenere una granulazione dovette Daubrée costrurre, con molto ingegno,

8

un apparato che imitasse le condizioni interne del globo: per produrre dei vetri, non si dovette che buttare nella fornace, o sottoporre al canello, qualunque delle rocce eruttive, studiando soltanto il modo di accrescere sufficientemente la temperatura, quando si trattava di rocce molto refrattarie.

251. Se così è, continuai a ragionare meco stesso, quando una lava si trovasse priva d'acqua, e pur sottoposta ad una sufficiente temperatura; nell'atto che esce a contatto della libera atmosfera, sarebbe come entrasse in quel momento in una fornace, o passasse sotto il canello. Quella lava si convertirebbe in un vetro. Ora, le supposte condizioni non si verificano esse appunto nell'atto che, rotta la crosta del globo che serve di storta, la lava trovasi d'improvviso sotto la libera atmosfera? L'acqua che sfugge rapida, furente, sollevandosi a foggia di mostruoso *pino*, e si svolge vorticosa, continua, dalle lave erompenti, non costituisce forse per sè il più appariscente tra i fenomeni vulcanici, e quello a cui sono condizionati, come effetto alla causa, tutti i principali fenomeni dei vulcani subaerei? Le condizioni supposte adunque si verificano. La crosta della terra si rompe; l'acqua sfugge; la temperatura rimane; la lava, come gettata nella fornace, deve in quell'atto squagliarsi, fondersi, vetrificarsi.

252. Ho detto: la temperatura rimane. Potrebbe dubitarsene *a priori*; tanto più considerandosi che la rapida evaporazione deve produrre un proporzionale raffreddamento nella lava. Può dubitarsene, dico, *a priori*, perchè i fatti più volgari ci attestano che la lava, anche quando ha perduta tutta o quasi tutta la sua acqua, conserva ancora una temperatura così alta, da esercitare la più energica azione; sicchè la fusione dei silicati meno refrattarî, di quelli precisamente che costituiscono le obsidiane, e in genere le lave fuse o semifuse, dev'essere fenomeno, non solo possibile, ma necessario. Noi vediamo le correnti di lava, già lontane centinaja e migliaja di metri dal punto della loro emissione, svolgersi a guisa di una pasta di ferro incandescente, e si veggono incandescenti per giorni e giorni anche a mediocri profondità. Se fra i granuli di quelle lave vi fossero grani di cera, o di piombo, nessuno dubiterebbe che essi non debbano fondersi. Perchè non si fonderebbero i cristalli di silicati se la temperatura corrisponde al loro grado di fusione sotto la libera atmosfera? E che tali temperature si verificano, ce lo assicura l'esperienza. Come è vero che le lave a Torre del Greco volatizzarono i metalli (*Parte prima* § 824); come è vero che le lave dell'Eifel, e di cento distretti vulcanici, antichi e moderni, fusero i grès e le rocce trachitiche, fonolitiche, trappiche (§§ 46, 47); quelle lave dovevano in quell'istante avere la virtù di fondere sè stesse, quando fossero state composte di minerali fusibili a quella stessa temperatura. E quando Recupero sull'Etna vide squagliarsi una collina entro una lava, derivata da una corrente, ben lontano dal luogo della eruzione (§ 45), quella lava manteneva certo, anche dopo la perdita della sua acqua, una temperatura sufficiente per fondere sè stessa, quando, ripeto, fosse stata composta di minerali fusibili, al pari di quelli che componevano la collina, pur composta di lave, cui Recupero vide struggersi. Perchè le lave si fondano nell'atto che si trovano sotto la libera atmosfera, è necessario soltanto che siano composte di minerali fusibili ad una temperatura, cui le lave stesse conservino, dopo la perdita dell'acqua. Molte lave, quelle precisamente a cui appartengono le obsidiane, le pomici, ecc., sono composte di tali minerali, facilmente fusibili a quella temperatura che l'esperienza ci mostra conservata nelle lave, dopo la perdita dell'acqua: la vetrificazione conseguente, esterna di tali lave, è dunque un fenomeno non solo possibile, ma necessario. Quando le suddette condizioni non si verificano, o non si avverino completa-

mente, le lave rimarranno granulate, come furono concepite, o non subiranno che un certo grado di fusione. Le lave granulate saranno adunque quelle dove o non si verificò la perdita dell'acqua, o non rimase una temperatura sufficiente a fondere i minerali, di cui erano composte. Quando la perdita d'acqua non si verifichi in grado sufficiente, o quando la rimanente temperatura non sia tale, che corrisponda al punto di fusione dei diversi minerali, o non sia sufficiente a produrre la fusione di tutta la massa, avremo delle lave semifuse.

253. La tesi, che in via razionale, è dimostrata, dovrebbe del pari esserlo sperimentalmente. Per sventura io non sono esperimentatore, nè, volendolo essere, ne avrei i mezzi. Ma ci è aperta un'altra via, sulla quale la scienza geologica percorse ben lungo e sicuro cammino, anche prima che le fosse aperta, come oggi, la via sperimentale. Questa via è quella dell'*osservazione*, la quale è, come dissi, la base e il punto di partenza della esperimentazione.

254. Cominciamo a dire che lave vitree, strettamente parlando, non esistono. Le stesse obsidiane formano piuttosto una parte accessoria di correnti cristalline, che correnti a sè. Osservate anche da sole, e in pezzi isolati, sono anch'esse sovente granulate, cristalline, e fin porfiroidi. La cosa è notata molte volte e da Spallanzani, che tanto scrisse sulle obsidiane delle Eolie, le quali sono il vero regno di tali vulcanici prodotti, e da Zirkel. Ammesso che la cristallizzazione della lava è prodotta dall'azione dell'acqua ad alta temperatura, sotto forte pressione; come mai poteva prodursi, nelle identiche condizioni, sotto le stesse reazioni chimiche, una lava cristallina e vitrea ad un tempo? Cessa invece ogni meraviglia, quando si ammetta, che in una lava, composta originariamente di minerali cristallizzati per via umida, che si fondono invece per via secca a diverse temperature, la parte vitrea risulti dalla fusione dei minerali più fusibili, misti ad altri che lo erano meno, fusione la quale, non potendo operarsi che per via secca, dovette necessariamente avvenire posteriormente alla formazione della stessa lava, anzi posteriormente alla sua emissione. Lo Spallanzani, che fece tante esperienze sulla fusione delle lave, parlando di due lave porfiroidi di Lipari, osserva un fatto, che io vidi del resto ripetersi nella fusione dei porfidi anfibolici di Leffe, e si sarà visto riprodotto le mille volte nella fusione delle rocce cristalline al fuoco della fornace. Dette lave erano fornite di cristalli di feldspato: trattate alla fornace si fusero entrambe, l'una però a temperatura maggiore dell'altra rimanendo intatti i feldspati. Si ottennero dunque artificialmente due obsidiane porfiroidi. Con ciò voglio dire che la permanenza dei cristalli, in una lava cristallina, che si vetrifichi posteriormente alla loro emissione, è fenomeno semplicissimo; mentre tale non sarebbe, quando la fusione si dovesse ritenere anteriore alla emissione, cioè interna, e quindi operata in quelle condizioni, in cui aveva luogo la granulazione, che è attestata dalla presenza dei cristalli. Ma c'è di più. I cristalli delle obsidiane mostrano sovente le tracce di una semifusione. Sono spesso disseminate di punti bianchi che sovente, ingrossandosi, avvicinano le obsidiane alle perliti. I punti bianchi delle obsidiane, come i globuli delle perliti, non possono considerarsi altrimenti che come cristalli semifusi, semivetrificati. Un pezzo di obsidiana, che trovo al Museo di Milano indicato come proveniente dal cratere di Astroni (Campi Flegrei), è distintamente porfiroide; ma i cristalli, probabilmente di feldspato, vi appajono come stemprati, a guisa di nubecule bianche, nella pasta vitrea, nera.

255. Zirkel, tutto inteso a sostenere che l'obsidiana è una trachite o una andesite, che non potè cristallizzarsi, riporta tuttavia il fatto, che le obsidiane contengono talora dei cristalli di feldspato ben decisi; ma che ordinariamente essi cristalli sono

piuttosto globuli cristallini, o cristalli a spigoli arrotondati e *come mezzo fusi* (*Lehrb. d. Petrog.* II, pag. 233-234). O formatisi nell'interno, o formatisi all'esterno, o prima, o dopo l'emissione della lava che li contiene, io non vedrei, perchè questi cristalli, i quali sono isolatissimi, e si suppongono formarsi isolati entro un liquido vetro, non debbano presentare sempre forme cristalline decise. Se non le presentano è segno che furono guasti dappoi, avendo sofferto una parziale fusione, che ne lese le forme, benchè non riuscisse a stemprarli interamente nella massa vetrificata. Ci avverte poi lo stesso Zirkel (*Ib.*) che nei cristalli delle obsidiane si rimarca quel parallelismo, di cui già tanto ci siamo intrattenuti, dovuto, come pensa lo Scrope, all'azione meccanica della corrente sui corpi tenuti in sospensione, e uno dei più sicuri argomenti che anche i cristalli preesistevano nella lava, quando fu emessa.

Nè alcun valore ha per noi ciò che ci obietta lo stesso Zirkel (*Ib.* pag. 235) che cioè, mentre si osservano nelle obsidiane cristalli di feldspato, non ve ne sono più di quarzo, che dovevano resistere assai meglio alla fusione. Nulla infatti ci obbliga a credere che i cristalli di quarzo o ci fossero, o ci dovessero essere. Nelle lave moderne il quarzo non si trova che assai eccezionalmente. È singolare del resto come lo stesso Zirkel citi l'obsidiana di Zimapan nel Messico, dove Rose distinse chiarissimi i cristalli di quarzo.

256. I fatti citati fin qui servono a dimostrare unicamente come la fusione delle obsidiane, e tanto meglio poi la fusione parziale delle lave cristalline, è un fenomeno conseguente alla loro emissione. Quelli che andremo ora raccogliendo serviranno, non solo a piena conferma dell'asserto, ma a porre in evidenza come il fenomeno di questa fusione conseguente avvenne nella maniera, e per le cause, da noi indicate.

Se la fusione di una lava avviene, come dissimo, in causa della perdita d'acqua, rimanendo un calore sufficiente per la fusione, essa fusione si manifesterà a preferenza dove si avverino meglio, o più prontamente, le condizioni di quello svolgimento di vapore, che produce la perdita d'acqua. Nessuno può dubitare che, in questo senso, le condizioni della fusione si verifichino a preferenza alla superficie delle masse laviche, ove lo svolgimento del vapore dev'essere immediato e totale. Ad una profondità appena sensibile, il peso della lava, congiunto a quella dell'atmosfera, deve più o meno impedire o la rapidità o la totalità dello svolgimento del vapore, e agire quindi, nel nostro senso, come forza impediente la fusione. Se noi abbiamo ragionato a dovere, la vetrificazione dovrà apparire come fenomeno preferibilmente superficiale; sicchè, supposta, per esempio, una corrente, che presenti le condizioni della fusione, la parte più fusa sarà la più superficiale, e la parte più cristallina sarà la più profonda. Ciò si verifica talmente, che basta, io credo, questo fatto a tutela della nostra tesi.

257. Le obsidiane non formano correnti, ma parti di correnti cristalline. Nessuno ha potuto indicare finora una corrente di obsidiana, che si possa dire una massa di vetro fuso, vomitato tal quale da un vulcano. Lo attestano Fritsch e Reiss, per Teneriffa, De Buch pel Messico e Spallanzani per le Eolie, quindi per le località ove forse le obsidiane sono più sviluppate che in nessun'altra parte del mondo. E quali sono i rapporti tra le parti vetrificate e le parti litoidi o cristalline della stessa corrente? Quelli appunto richiesti *a priori* in prova della nostra tesi. Le obsidiane occupano le regioni più superficiali delle correnti; le lave litoidi, o cristalline le interne.

258. Una delle località dove le obsidiane hanno, secondo Fritsch e Reiss, uno

Digitized by Google

sviluppo maggiore a Teneriffa, sono i monti vulcanici di Teyde. L'*obsidiana*, scrivono gli autori, *si mostra alla superficie della maggior parte delle correnti*. In minor copia si veggono le obsidiane nei monti Cañadas, *dove esse si mostrano come parti superficiali di poderose correnti di fonoliti* (*Geol. Beschr. d. Ins. Teneriffe*, pag. 406).

È ben noto, dice Darwin, che in parecchi luoghi l'obsidiana corse in correnti, come la lava: per esempio a Teneriffa, alle Lipari, in Islanda. In questi casi, aggiunge, le parti superficiali sono le più perfettamente vitree, passando l'obsidiana, alla profondità di pochi piedi, ad una pietra opaca. Cita come esempio una corrente di obsidiana nel Messico, che è invero una corrente di una pietra opaca (lava litoide) coperta superficialmente da un vetro (*Vulcanic Islands*, pag. 64).

259. Ma i migliori documenti in proposito noi li abbiamo da quell'eccellente osservatore, che era l'abbate Spallanzani. Eccovi la descrizione di una corrente di lava osservata sul fianco dell'isola Vulcano: essa par così fatta pel caso nostro, che io la riporto testualmente, senza toccarvi sillaba. « Nelle parti superficiali ella è un verace smalto, nerissimo, lucidissimo, affatto opaca e facilmente stritolabile, nel quale sono incorporate più scaglie sorlacee e feldspatose (*schegge di pirosseni e feldspati*). Cotal smalto è a tumori segnati da fascioline, e grossi fili (*cordoni e filamenti superficiali dovuti allo stiramento delle lave vischiose*), che, per ogni dove lo corrono, ma con un andare sempre tendente ad un verso, che è quello della direzione della lava, cioè dalla montagna al mare. E le fascioline, e i fili, sono pure smaltini. La loro presenza e andamento indicano abbastanza, che lo smalto, quando fluiva, ed entrava in mare, era più molle che fluido. »

» A quel modo che le altre lave vicine sono ciascuna, per tutta la loro profondità, della medesima pasta, su le prime mi figurava che lo stesso esser dovesse di questo smalto, in quanto che formasse una propria corrente, come vedremo in più smalti di Lipari. Ma fattine romper dei pezzi grossissimi, trovai diversamente andare la cosa. Cotale smalto adunque altro non è che *la parte superficiale, ossia la crosta di una lava* molti piedi profonda, la quale crosta dove è più sottile, arriva appena ad una linea; e dove è più grossa, sopravvanza i due pollici. Dessa poi non può dirsi in alcun modo avveniticcia, cioè corsa dopo la lava, ed attaccatasi su di lei; ma la crosta smaltina è una vera continuazione della lava stessa, siccome io me ne sono accertato per replicati e diligenti esami. Lo smalto adunque, dopo formata quella crosta più o meno grossa, quasi improvvisamente perduti i sensibili suoi caratteri, cangiasi in una lava bigio-rossigna, secca, aspra al tatto, terrosa, che manda odore argilloso, e la cui base e una pietra cornea (*trachite?*), senza però che questa lava perda le scaglie dei sorli o del fedspati. Convien dunque dire che tal corrente fosse dal fuoco più affetta alla superficie, che dentro, non sapendo io d'altro modo concepire simile fenomeno (*Viaggio alle due Sicilie*, Vol. 2 pag. 161) ».

260. Nè in altro modo il fenomeno concepire si potrebbe. Ma come avvenne che il *fuoco* affettasse maggiormente la superficie, che l'interno di quella corrente? Quando quella lava aveva forma di corrente, era già fuori, già lontana dal cratere, quindi nell'impossibilità di ricevere un sopraccarico di calore dalla fornace vulcanica. La lava aveva già in sè quanto poteva portare di calore iniziale, e, cammin facendo non era che in via di perderne. Ora se vi fu fusione alla superficie della corrente, questa non può avere altra origine che dal calore stesso onde la lava era già compresa. Ma se questo calore poteva fondere la lava, l'avrebbe già fusa prima che uscisse del cratere, o l'avrebbe fusa poi, ma più all'interno, dove il calore si conserva, che alla su-

Digitized by Google

perficie, ove è invece così pronto il raffreddamento. Come si spiegano tutti questi misteri? I plutonisti rispondono, ammettendo che l'obsidiana è la parte raffreddata prontamente, o quindi non potutasi cristallizzare; mentre la parte interna potè cristallizzarsi, raffreddandosi lentamente. Ma questo, lo ripetiamo per la centesima volta, è insostenibile, è falso per mille argomenti, e ne abbiamo una prova di più nella esistenza dei pirosseni e dei feldspati tanto nella obsidiana in discorso, quanto nella lava litoide sottoposta, come ce ne avverte espressamente lo Spallanzani. Dunque? dunque la cosa non può spiegarsi altrimenti se non concedendo che la temperatura, la quale non era potente a fondere in presenza dell'acqua, lo divenne, appena l'acqua sfuggì; e la fusione operossi precisamente alla superficie, perchè alla superficie fu più immediata e più completa la perdita d'acqua.

261. Anche dove non formaronsi veri vetri vulcanici, avendo pur luogo una aliquale vetrificazione delle lave, come è il caso di certe lave augitiche del Vesuvio, essa vetrificazione si nota assai meglio alla superficie, che nell'interno. Può citarsi come esempio in proposito la corrente vesuviana del 1858, che si attraversa, salendo da Resina all'Osservatorio, la quale, essendo singolarmente vischiosa, offre l'esempio più grandioso e squisito di *lave a corda*, e servì, io credo assai, a ribadire nella mente dei visitatori del Vesuvio, scienziati e non scienziati, la falsa idea che le lave siano masse fuse. Le stesse bombe appajono sovente coperte quasi da uno smalto poroso di vetro, mentre nell'interno sono assai distintamente cristalline e litoidi.

262. Che le correnti siano più compatte e cristalline alla base, mentre sono più bollose e scoriacee alla superficie, è una osservazione ripetuta anche da Delesse, il quale nota come distinte, per questo accidente, le correnti dell'Alvernia (*Études sur le métamorph.*, pag. 376). È vero che l'essere più bollosa e scoriacea una lava alla superficie, dipende anche dalla minore pressione, che si oppone al rigonfiamento della lava stessa. Ma non si può negare, che la formazione delle vere bollosità, dice naturalmente una certa viscosità, la quale accusa una vetrificazione almeno iniziata. Del resto lo stesso Delesse (*Ib.*) aggiunge, parlando delle lave dell'isola Bourbon, verificarsi *sovente*, che la superficie superiore di una corrente è *vitrea sullo spessore di 1 a 2 centimetri* mentre nella parte inferiore è poco cellulosa o *cristallina*. Cita poi l'esempio interessantissimo del trapp, interstratificato alle rocce sedimentari sulla costa occidentale di Newhaven, a una lega di Edimburgo. Quel trapp è, preso in massa, verde cristallino, con molte lamelle feldspatiche incrociantisi. È invece grigio, tenace, d'una lucentezza grassa e d'una pasta feldspatica compatta quando è preso a contatto degli strati sedimentari. Le lamelle feldspatiche sono scomparse, o la lava ha dunque subito una semivetrificazione (Delesse, *Ib.* pag. 388). Per Delesse gli è un caso di metamorfismo della roccia incassata. Ma qual'è la superficie affetta da metamorfismo? per buona sorte il signor Delesse ce lo dice. È presisamente la superiore, quella ove la fusione doveva, secondo le nostre idee, verificarsi. Sulla lava semifusa, che era forse una corrente spintasi dalla terra in mare, si deposero in seguito i grès che la coprono.

263. Non sempre però le obsidiane costituiscono un solo strato superficiale delle correnti. Più spesso anzi, sempre facendo parte di correnti litoidi, si incontrano a straterelli, alternanti con strati litoidi coi quali sono però immedesimati, o offrendo altre particolarità tutte favorevoli alla tesi che sosteniamo.

Bory S. Vincent ha molto bene descritto le lave vischiose fluidissime dell'isola Bourbon, che escono a sgorghi dai crateri, e si sovrappongono corrente a corrente, o, direm meglio, pagina a pagina, formando delle masse coniche, che si elevano a

Digitized by Google

considerevoli altezze (Scrope, *Les volcans*, pag. 74). Così si devono sovrapporre, anche nelle grandi eruzioni, correnti a correnti, le quali, trattandosi di lave molto fluide, possono distendersi in pagine sottilissime, sicchè la corrente risulti qua e là di parecchi strati sovrapposti di lava. Ora si avverta bene a ciò che deve avvenire, secondo le nostre idee. Ogni pagina, che si distende, presenta una superficie superiore, ove il vapore ribolle rapidissimo, e una superficie inferiore, dove la lava sopporta una certa compressione. Se appena lo strato ha un certo spessore, risulterà come diviso in tre; avremo cioè uno strato inferiore litoide; uno strato superiore vitreo; uno strato superficiale bolloso, e in circostanze opportune, schiumoso, cioè pumiceo. Ben inteso che questo avrà luogo senza nessuna regolarità, con quella soltanto, che può esigersi da sgorghi vischiosi, mobilissimi, che scorrono, ondeggiano, si sovrappongono, si torcono, si sfilano, si accavallano. Ne risulterà quindi quella struttura schistosa, quella disposizione indefinibile, che è pur dipinta sì bene da Darwin. Egli infatti (*Volcanic Islands*, pag. 54) descrive minutissimamente quelle *lave* laminate, che passano all' obsidiana, alternando con essa; quegli insensibili trapassi, che accusano minime diversità di struttura; quelle gradazioni di colorito; quelle bollicine, quasi finissime perle, convertite in amigdali, distribuite in piani paralleli agli strati di obsidiana. E questa è la fisonomia, dice Darwin, che affettano tutte le formazioni o vitree, o perlacee dell'Ungheria, dell' Italia, del Messico, ecc.

264. I pochi saggi di obsidiana che io potei osservare al Museo di Milano, presentano i caratteri suddetti. L' obsidiana erratica dei dintorni di Bolsena, speditami dal marchese C. Gualterio, mostra come trovossi a strisce nelle lave litoidi. Quella del Monte Somma si presenta a strisce e sfilacciamenti alternanti colla pomice. Quelle di Lipari mostraronmi una alternanza di strati migliari, cioè di strati di bollicine, della grossezza di un grano di miglio, convertiti in druse, e di straterelli di obsidiana pretta. Ma le obsidiane di Lipari lasciamole descrivere dallo Spallanzani, il quale ci offre i seguenti particolari circa la gran corrente di lava con obsidiana, che trovasi precisamente sotto al castello della città. È una lava cinerea, compatta, ricca di globuli, che passa all' obsidiana. È così, io penso, che, come accenna Naumann (*Lehrb.* II, pag. 691), il porfido passa, per uno stato di fusione meno perfetta, alla retinite. La lava litoide è così intimamente unita alla vitrea, che l' autore ne fe' levigare dei pezzi, che apparvero per metà vetro, e per metà lava. Il vetro ha talora lo spessore fin di quattro o cinque piedi; ma esso è formato di molti strati sovrapposti, i quali sono divisi fra loro da sottili fogli di *particelle terrose* e come scoriacee. Spallanzani non dubita che quegli strati sovrapposti non rappresentino altrettante *colature diverse*, cioè sgorghi successivi di lava (*Op. cit.*, vol. 2. pag. 238-241).

265. Ognun vede, in seguito ai particolari riferiti, che quegli strati bollosi, pumicei, non rappresentano che altrettante superficie di veli di lava sovrapposti l'uno all'altro, che mano mano si scorificano, venendo a immediato contatto dell'atmosfera, mentre lo strato appena sottoposto formava un vetro compatto, il quale alla sua volta sovente copriva la lava litoide. È già universalmente acconsentito che le pomici stanno alla obsidiana, come le scorie alle lave communi. Esse infatti non sono che obsidiane scorificate superficialmente, appunto pel vapore che in gran copia si svolge alla superficie delle lave. Le pomici non sono, per dir così, che le schiume delle obsidiane ribollenti, e come tali, sono, e devono essere, essenzialmente vitree. Al monte della Guardia (Lipari) infatti la lava, il vetro e la pomice sono intimamente associati; e le stesse pomici, non che i loro filamenti, seguono la direzione delle correnti (Spallanzani, *Ib.*, pag. 245). Ma nulla vi ha di più decisivo in proposito dell' altra corrente

Digitized by Google

di lava litoide, vitrea e pumicea ad un tempo, di campo Bianco, cui il lodato autore minutamente descrive. Quella lava è feldspatica, e contiene cristalli di feldspato; ma essa passa tratto tratto al vetro, talora in piccole vene, talora in grossi filoni, ora, compatto, ora vascolare e bolloso: talvolta invece la lava diventa decisamente pumicea, le stesse pomici però contengono cristalli di feldspato (*Ib.* pag. 278-283.) Queste associazioni, questi trapassi di prodotti, i quali non rappresentano che varî modi di essere della stessa lava, dicono, in chiare note: che la lava, una originariamente, si modifica diversamente, quando scorre sotto la libera atmosfera. E a che si riduce questo processo modificatore esterno, se non a quello svolgimento di vapore, per cui risiedono compresse le parti vetrificate, ancor liquide, e convertonsi in obsidiana; mentre altre parti, le più superficiali, le schiume, egualmente vetrificate, ma raffreddate più prontamente, rimangono bollose in eccesso, e converse in pomici?

266. Ma le obsidiane non si mostrano soltanto alla superficie delle correnti, che scorsero sotto la libera atmosfera; ma trovansi anche far parte di dicchi. In quali rapporti?.... Come i vetri vulcanici formano la superficie delle correnti, così costituiscono le superficie laterali dei dicchi, cioè le salbande. Nota Delesse come le lave in filoni divengono molto sovente vitree ai labbri, cioè in contatto colla roccia incassante. Egli verificò il fatto sopra una collezione portata da Constant Prevost. Notò, fra gli altri, un filone (dicco) del Somma, il quale, litoide nel mezzo, diveniva successivamente bolloso, poi compatto, poi, alla salbanda, perfettamente vitreo (*Études* etc., 376). Cita più tardi un filone di trachite nella dolerite, presso Teolo. Nella parte centrale quella trachite è grigia, verdastra, assai cristallina; vi abbondano i cristalli di orneblenda, di anortose, di ortose vitreo, di mica nero con grani di quarzo. Alle salbande si fa nera, vitrea, resinosa come la retinite, e non contiene che lamelle bianche di feldspato (*Ib.* pag. 384). Sarebbe importante assai di sapere se i grani di quarzo siano assolutamente scomparsi. Probabilmente trattasi dello stesso dicco, nelle vicinanze di Teolo, descritto più recentemente da Rath (*Geogn. Mitt. ü d. Eugan.* pag. 478.) Dicchi di trachite, talor chiara, talora oscura, traforano i tufi doleritici. In un certo punto un dicco di trachite nera, attraversato il tufo, prosegue attraverso la trachite bianca. Nel prolungamento del filone attraverso la trachite, e precisamente alle salbande, la trachite nera si cambia in retinite porfirica (*Pechsteinporphyr*), sopra una zona della larghezza di una mano. Il signor Rath ricorda a proposito le obsidiane alle salbande del Somma, e i filoni di trachite porfirica di Ponza e Palmarola, che, osserva l'Abich, sono alle salbande convertite in perlite o retinite. Fritsch e Reiss ci dicono che sottili salbande di obsidiane incassano i dicchi fonolitici e basaltici alle Canarie (*Geol. Beschr.* ecc. pag. 407).

Questi fatti, anzichè contrari alla nostra tesi, le sono favorevoli. È certo che le rocce incassanti sono abbastanza porose, perchè una certa quantità di vapori debba sfuggir attraverso quei pori. Le bollosità che si incontrano pure alle salbande, lo attestano. Verificandosi le circostanze più opportune, cioè grado distinto di porosità nelle roccie incassate e di fusibilità nella lava, la superficie di questa si troverà nelle identiche condizioni della superficie di una corrente sotto la libera atmosfera, e ne conseguirà ugualmente la vetrificazione.

267. La struttura dell'obsidiana risponde poi così bene all'ideale di un vetro, fuso all'aria libera, e reso fluidissimo da altissima temperatura, da cui il vapore acqueo potè sfuggire, vuotando fin l'ultimo poro. In molte obsidiane infatti, che appajono assolutamente omogenee e compatte come il vetro, il microscopio trova un numero immenso di pori, o piuttosto di vere cavità bollose, rotonde, o ovali, e assai allungate. Il nu-

mero di quei pori è veramente meraviglioso. In una obsidiana d'Irlanda, Zirkel, come già dissi, ne calcolò 800,000 nello spazio di un millimetro quadrato. Gli assi maggiori di quelle cavità sono d'ordinario fra loro strettamente paralleli, e talvolta sono disposte a zone e a strati. Nessun fluido riempie quelle cavità. Se, durante il ribollimento, l'obsidiana si consolidò, rimase bollosa, allo stato di pomice. Se invece, dopo che le bolle furono intieramente vuotate, conservò ancora per poco la sua fluidità, ricadde compressa, come un liquido vischioso, che, convertito in spuma durante l'ebollizione, risiede quando questa cessi. Il microscopio vi scorge però ancora le bollicine ridotte a un minimo invisibile.

268. Come lave modificate dalla perdita d'acqua, le obsidiane devono essere anidre per eccellenza; e lo sono infatti. Esse non rappresentano altro, per commune consenso, che lave trachitiche, risultanti da una vetrificazione delle lave trachitiche cristalline (trachiti, fonoliti, andesiti). Osservando ora la *Tabella dello stato di idratazione* (§ 149) si rileva, che tutte le rocce trachitiche figurano tra le *relativamente* anidre. Ma considerando come, ad eccezione delle andesiti augitiche, tutte le rocce trachitiche sono più idrate delle obsidiane, presentando una massima fin di 3,22 per 100, e riflettendo che le obsidiane rappresentano, piuttosto che una trachite, una miscela di tutte le rocce trachitiche, si concluderà che esse obsidiane *rappresentano le rocce anidre per eccellenza*. Presa infatti la media d'idratazione di tutte le rocce trachitiche, comprese le andesiti augitiche, = 0,73, questa è di molto superiore alla media delle obsidiane = 0,29.

269. Una forte obiezione contro la nostra tesi si può derivare dalla copiosa idratazione delle retiniti. Noi abbiamo già accennato a qualche cosa in proposito (§ 156), e confesso di non sentirmi ancora affatto libero dal peso di tale difficoltà. I caratteri, cha avvicinano tanto le obsidiane alle retiniti, sono tali, che il cercare per queste un' origine diversa, parmi affatto fuor di luogo. Io ritengo che le obsidiane, le perliti, le retiniti, abbiano la stessa origine; sono lave diverse, modificate allo stesso modo, cioè vetrificate per la perdita d'acqua La quantità d'acqua, che distingue le retiniti, dovrebbe essere dunque un fenomeno di idratazione posteriore all' emissione, e alla vetrificazione. Ecco il supposto che io vorrei suffragato da sufficienti osservazioni. Alcuni argomenti però non mancano per sostenerlo. Anzi tutto codeste retiniti sono lave antiche; entrano nei dominî dei porfidi, e sono, come i porfidi, associate a terreni sedimentari antichissimi. I porfidi di Valgana, colla loro retinite, rimontano per lo meno ai primordî del trias. Le retiniti adunque devono, come tutte le rocce antiche, essere state le cento volte sommerse, ed essersi trovate, dopo la loro protrusione, a grandi profondità, entro la crosta terrestre. Le obsidiane sono prodotti vulcanici recentissimi, e stanno ancora alla superficie, ove furono espanse. La loro idratazione è, assaî probabilmente, un caso di quel metamorfismo regionale, che vedremo essere, quasi in tutto e per tutto, un fenomeno acqueo, e, in certo senso, un fenomeno di idratazione. A questa idratazione doveva essere estremamente favorevole la struttura della roccia. Non trovo che si parli di pori nelle retiniti, mentre furono sottomesse a finissimo esame microscopico, per cui risultarono formate di un finissimo intreccio di microscopici cristalli. Tuttavia, se furono obsidiane in origine, cioè vetri vulcanici, dovettero essere, come le obsidiane, porosissime. L' acqua ha quindi potuto filtrarvi copiosa, e deporvi gran copia di minerali idrati, come la vediam fare communemente nelle lave bollose. Io non so se potrebbe l'osservatore distinguere facilmente degli amigdali tali che 800,000 se ne annidassero entro lo spazio di un millimetro quadrato, cioè così numerosi, come lo sono i pori delle obsidiane osservate da

Digitized by Google

Zirkel. So invece benissimo, e me ne informa lo stesso Zirkel (*Lehrb.* I, pag. 574) che Kenngott intese a dimostrare essere, per esempio, la retinite d'Islanda il risultato dell'associazione di una zeolite (minerale amigdaloidale essenzialmente idrato) con feldspato vitreo e quarzo; che Haughton trovò che la retinite di Lough (Islanda) contiene 29,83 di stilbite (minerale amigdaloidale pure essenzialmente idrato), a cui attribuisce appunto la gran copia di acqua, 5,13, contenuta in quella retinite.

270. Notisi che le retiniti presentansi sovente in dicchi. Così si osserva nei graniti d'Islanda, nei graniti e nelle rocce devoniane di Arran, nella sienite di Skye, nelle trachiti di Sardegna (Zirkel, *Lehrb.* pag. 575). Vi forma probabilmente le salbande; almeno Nicol osservò presso Oban (Scozia) un dicco di *Grünstein*, con salbande di retinite, dell'aspetto della antracite; e alle salbande vedemmo collocati il porfiro retinitico degli Euganei, le retiniti e le perliti di Ponza e Palmarola (§ 266). Ora parlando della formazione dei filoni metalliferi, vedremo come i dicchi, e specialmente le salbande, sieno, per dir così, il regno della idratazione, e di tutti i fenomeni acquei metamorfici, che si operano lentamente, per un tempo indefinitamente lungo. Infine le prove che la idratazione delle retiniti, sia, come quella delle lave amigdaloidali, un fenomeno posteriore alla loro emissione e al loro consolidamento sono tali, che il fatto di essa idratazione non può armarsi contro una tesi, che, per riguardo alle lave vitree più moderne, è basata sopra i più sicuri argomenti.

271. Ammettendo che la vetrificazione delle lave sia un fenomeno subaereo, troveremmo la più plausibile spiegazione del fatto, che le lave dei vulcani moderni, i quali presentano un vero apparato vulcanico, sono, a preferenza, vitree o semivitree, in confronto delle lave più antiche, cioè di quelle che si presentano senza un vero apparato vulcanico. Si può anzi stabilire questo principio, che le varietà vitree o semivitree sono tanto più communi, quanto più le rocce cristalline offrono gli indizii di una origine subaerea, divenendo tanto più rare, quanto più ci avviciniamo al tipo sottomarino. Le Eolie, i Campi Flegrei, le Canarie, il Messico, infine i veri distretti vulcanici, o piuttosto i distretti a vulcani subaerei, sono anche le località che presentano in abbondanza le obsidiane. Nell'Eifel, nell'Alvernia, e negli altri distretti a vulcani subaerei, se non si presentano veri vetri vulcanici, offronsi però delle lave vischiose, bollose, semivitree. Le pomici poi, che equivalgono alle obsidiane, stanno tra i prodotti communi degli attuali vulcani di tutto il globo, e dei vulcani spenti, i quali presentano veri coni vulcanici, e quindi il tipo dei vulcani subaerei. Le lave vitree, sotto forma di perlite, di retinite, sono già una vera eccezione nei distretti trappici e porfirici, che presentano a preferenza il tipo dei vulcani o insulari o sottomarini, i quali ebbero però certamente eruzioni subaeree. La vetrosità scompare poi totalmente dalle formazioni granitiche, le quali rappresentano, come abbiamo veduto, il vero tipo delle eruzioni sottomarine. Ed è naturale: in quel modo che le eruzioni sottomarine sono affermate dall'assenza del cono, delle ceneri, dei lapilli, delle lave bollose, di tutti i caratteri che sono una conseguenza dell'emissione della lava sotto la libera atmosfera (*cap. V*); così lo devono essere dall'assenza di lave fuse o semifuse, essendo la fusione un fenomento subaereo per eccellenza. L'assenza o la presenza di lave vitree o semivitree sono due caratteri, l'uno negativo, l'altro positivo, da aggiungersi ai tanti, con cui abbiamo sancito in genere l'origine vulcanica sottomarina delle rocce cristalline antiche, e l'origine subaerea delle moderne. Studiandosi sotto questo punto di vista la giacitura delle perliti e delle retiniti, si incontreranno, credo indubbiamente le tracce, di eruzioni subaeree.

Le retiniti appartenenti al gruppo dei porfidi del lago di Lugano, si scoprono tra

Grantola e Cunardo, come sanno i geologi che conoscono qnanto si scrisse e si disputò sull'origine di qnelle pietre, allora così misteriose. Or bene è precisamente ed esclusivamente in quelle vicinanze, cioè a Marchirolo, Fabbiasco, ecc. che noi troviamo i porfidi bollosi, amigdaloidi, i tufi porfirici, fino gli strati di ceneri porfiriche, o tutti i testimonî di nna eruzione subaerea.

272. Le obsidiane e le pomici, che, rocce fuso per eccellenza, in ordine alla fusione, occuperebbero l'estremo opposto a qnello che, nella serie delle roccie cristalline, s'assegnerebbe al granito; sotto l'analisi chimica, si approssimano assai a graniti, fino talora alla identità (Scheerer, *Bull. Soc. géol.* 2 Sér., Tom. 4. pag. 482). Se le obsidiane e i graniti sono lave, egnalmente concette in seno alla terra; perchè questi offrirebbero il tipo di magma acquei cristallini, e quello il tipo delle rocce fuse? Io credo di poter rispondere che, se uguali furono le condizioni della loro concezione, diverse assai furono quelle della loro nascita. Nati i graniti nelle profondità sottomarine, si conservarono, com'erano concetti, sotto forma di magma cristallini: le obsidiane invece, nell'atto di veder la luce dello regioni aeree, si trovarono prive dell' acqua, in cui erano generate, e in tutta balìa dell' alta temperatnra, che fuse immediatamente il magma cristallino in un impasto vitreo.

273. Anche sotto qnesto rapporto io credo che lo Scrope, paragonando, per rapporto ai loro caratteri fisici le diverse lave, ai veri prodotti zuccherini, ci offriva, piuttosto che una semplice similitndine, una serie di vere analogie, non immeritevoli di considerazione. Il primo prodotto della bollitura della canna, consistente in un *magma* di granuli, ossia di cristalli imperfetti, sospesi in un siroppo, che, in seguito alla evaporaziono, si trasforma in *zucchero in pane*, cioè in una massa compatta, formata di nn intreccio di cristalli, risponde appuntino al *magma* lavico, formato nell' interno, sotto l' azione dell'acqna ad alta temperatura, che, per l'evaporazione, e anche pel semplice raffreddamento dell'acqua stessa, si trasforma in nna roccia, ugnalmente formata d'un intreccio di cristalli. Lo *zucchero candito* ha della analogia coi graniti, colle trachiti, colle rocce eminentemente porfiroidi. Lo zucchero fuso, vischioso, filamentoso imita assai bene le obsidiane, le pomici, le lave vischiose, filamentose. Così lo Scrope (*Les volcans*, pag. 122), insistendo in un confronto, che parrà, per avventura, ridicolo a chi non abbia mai riflesso per bene che, ne'suoi modi di agire, la natura è sempre ugnale a sè stessa, ne' più volgari, come ne' più reconditi fenomeni. Trattisi di zucchero, piuttosto che di quarzo, di feldspato, di pirosseno; abbiamo sempre delle sostanze che, a una data temperatura, sotto nna data pressione, sono capaci di sciogliersi nell' acqua, poi di cristallizzarsi. Notisi di più questo tratto decisivo di analogia tra lo zucchero e i minerali lavici. E l'uno e gli altri, trattati per *via umida*, danno degli impasti cristallini; trattati per *via secca*, si fondono, e danno dei vetri... chè vetri in fine sono tanto le obsidiane come lo zucchero fuse a secco.

274. La teorica proposta scioglie anche l' unica difficoltà di momento, che si potè armare contro l' idea della granulazione delle lave antecedenti alla émissione. Questa difficoltà fu messa in campo da Zirkel, e oppostami dal signor Omboni, ove scrisse contro la teorica della granulazione antecedente (*Atti della Società Italiana*, X, pag. 244).

Le lave della recentissima eruzione di Santorino hanno aspetto vitreo, resinoso; si assomigliano alle retiniti; ma sono anidre, non offrendo all' analisi che una perdita di 0,36 a 0,50. Sono però abbastanza porfiroidi, contenendo copiosi cristalli di feldspato (probabilmente sanidino) lunghi fin 5 millimetri. La pasta vitrea, osservata al microscopio, è omogenea, cioè veramente vitrea; ma è sparsa di aghi cristallini,

Digitized by Google

d'ignota specie, però d'indole feldspatica. I cristalli di feldspato, benchè ben definiti, appajono essi pure, sotto al microscopio, sparsi degli stessi aghi cristallini, contenuti nella pasta vitrea; più di noduli della pasta vitrea medesima. Alcune cavità del cristallo communicano colla pasta vitrea, che lo involge, mediante un canale, sicchè detta pasta vi penetra, e vi forma ramificazioni e vene vitree. Il signor Zirkel conchiude da queste osservazioni che i cristalli di feldspato ebbero origine dalla massa liquida per fusione, e che, contenendo essi cristalli particelle di quella sostanza vetrosa, questa era ancor molle, quando formaronsi i cristalli; che infine, usando i nostri termini, la fusione è antecedente alla granulazione (*Neues Jahrb.* 1866, pag. 770). Le conseguenze dedotte da Zirkel sono, per lo meno, affrettate. L'unica conseguenza immediata e necessaria, che deriva da quelle preziose osservazioni, è questa; che la sostanza, donde risulta la pasta vitrea, preesisteva ai cristalli di feldspato, i quali la includono. Ma non è per nulla necessario di ammettere che detta pasta esistesse allo stato vitreo; poichè nulla ci prova che non abbia potuto vetrificarsi poi. Se, conformemente alle mie idee, allo sprigionarsi dell'acqua, nell'atto che la lava di Santorino veniva a contatto dall'atmosfera, durava una temperatura sufficente; doveva liquefarsi quella parte di essa lava, che era atta a subire tale trasformazione: e tale trasformazione essa doveva subirla tanto fuori, come dentro il cristallo; poichè uguale, e dentro e fuori, esser doveva la temperatura. E come rimasero aghi cristallini nella massa vetrificata, gli stessi aghi dovevano rimanere anche nell'interno dei cristalli. Ma quegli aghi cristallini, superstiti alla fusione, dovettero anch'essi soffrire, poichè è assai probabile che si debba attribuire ad una semifusione l'irregolarità di quei cristallini, che ben di rado presentano le estremità appena regolari, mentre d'ordinario terminano irregolarmente, e sono arrotondati, o ingrossati in forma di clava. Le osservazioni di Zirkel non fanno che confermare ciò che risulta delle osservazioni di Scheerer sui graniti, che cioè la granulazione delle lave ha luogo per la formazione successiva di minerali diversi, rimanendo finalmente i primi impigliati nei secondi. Mi ricordo benissimo d'aver osservato nel *Museum of practical geology* a Londra una collezione delle lave dell'ultima eruzione di Santorino, e di aver perfettamente rimarcato come, nelle lave non solo, ma nelle vere scorie, si distinguessero benissimo i cristalli di feldspato. Ammessa dunque anche la fusione interna di quelle lave, rimarrà però sempre al sicuro da ogni attacco la loro interna granulazione.

275. Un altro fatto, che si concilia assai bene colla teorica esposta, è il modo di presentarsi delle rocce serpentinose, in confronto colle peridotiche. Sulla fine del capitolo precedente noi abbiamo veduto come, in seguito alle esperienze di Daubrée, i silicati magnesiaci si comporterebbero, in via secca e in via umida, in un modo affatto opposto a quello dei silicati alluminosi. Il serpentino si disidrata sotto l'azione di un'alta temperatura, esercitata sotto la libera atmosfera; ma, in luogo di fondersi, di vetrificarsi, si cristallizza. Il serpentino non sarebbe perciò, come abbiam detto, che il peridoto idrato; ma per la sua struttura omogenea, non cristallina, si assomiglia, in termini assai larghi, al vetro. Lo stato vetroso, se così si può chiamare, sarebbe lo stato ordinario delle lave prettamente magnesiache; il cristallino lo stato eccezionale. Non insisto su quanto ho già largamente fatto rimarcare (§ 243-245). Voglio ora soltanto far sentire, come la teoria esposta della *granulazione antecedente e interna*, e della *fusione conseguente esterna*, scambiando letteralmente i termini, si applica esattamente alla genesi delle rocce serpentinose e peridotiche. È sempre l'acqua, che agisce, o positivamente o negativamente, nella generazione delle lave. Ma la sua azione, esercitata ad alta temperatura, sui silicati alluminosi, e su altri silicati misti, principal-

mente calciferi, granula e cristalizza; portata invece sui pretti silicati magnesiaci (non si può dire ancora in via esperimentale, ma in via geologica si) fonde, o dirò meglio, stempra in un composto omogeneo. Quando, rotta la storta terrestre, i due diversi *magma* si trovano a contatto dell'atmosfera, sfuggendo l'acqua, e rimanendo l'alta temperatura, l'uno si vetrifica, l'altro si cristallizza. Le lherzoliti e le duniti, il ripeto, per quanto l'idea possa sembrare ardita, potrebbero essere le obsidiane e le retiniti delle lave magnesiache, ossia le lave magnesiache subatmosferiche.

276. Prima di por fine a questo, che è l'ultimo dei nove capitoli consacrati alla genesi delle rocce cristalline, e che ci guidarono alla conclusione, che tutte le rocce cristalline, dai graniti azoici, alle lave del Vesuvio, sono lave eruttate dà vulcani antichi e moderni, sottomarini o subaerei; non posso dispensarmi dal fare un cenno sulla ipotesi rinata della *sedimentazione dei graniti*.

Le idee di Werner, che ripeteva i graniti, del pari che le rocce fossilifere, da sedimentazione marina, supponendo, già s'intendo, nel primitivo oceano granitoso, una attività chimica che più tardi perdotte, queste idee nettuniche, messe a dormire alcun tempo dal plutonismo vittorioso, tornano in campo, fiero dell'appoggio di splendide autorità, tra le quali somma quel'a di Daubrée. Il celebre esperimentatore, che versò tanta luce sulla genesi e sul metamorfismo delle rocce, imitando co'suoi apparati, quelle condizioni, le quali non si verificano attualmente che nell'interno del globo, pretese, per induzione, che un giorno quelle stesse condizioni si verificassero sulla universa superficie terrestre; esistesse quindi primitivamente un oceano di acqua caldissima, sotto forte pressione, a contatto coi silicati, sicchè ne sarebbero nati dei prodotti analoghi a quelli, che si formano ne'suoi apparati, simili ai graniti, ai gneiss, si micaschisti, ecc. Prodotto di quel diuturno lavoro sarebbe quella ingente massa di terreni cristallini che precedettero l'epoca siluriana; quel gruppo immenso, cui i geologi presentano sotto il nome di *azoico*. Consta di gneiss, di micaschisti, di schisti cristallini d'ogni foggia e d'ogni nome, di serpentino, di calcari, di dolomie, di quarziti, ecc.

Pigliando il solito punto di partenza dall'idea di una primitiva incandescenza del globo, e venendo al punto in cui la massa dei mari doveva trovarsi sospesa, allo stato di vapore, nell'atmosfera, questa, dice Daubrée (*Rapport sur le progrès*, ecc. pag. 91) doveva esercitare sulla superficie del globo una pressione almeno 250 volte maggiore dell'attuale. Appena però il grado di raffreddamento fu tale, che il vapore acqueo perdesse la tensione, capace di far equilibrio alla pressione di 250 atmosfere; esso vapore dovette concentrarsi, e le acque cominciarono ad occupare i terrestri bacini, mantenendo però una temperatura altissima. È in questo stato che l'acqua doveva esercitare un'azione solvente potentissima sui silicati componenti la crosta del globo. Quelle masse fuse, vetrificate dal calore, dovevano, pel poderoso intervento di quel nuovo agente, convertirsi in masse cristalline. I nuovi prodotti, formati o sospesi in seno a quell'oceano primitivo, si precipitarono in seguito, costituendo diversi depositi, mano mano che diminuiva la temperatura del liquido. Fu quella, domanda Daubrée, l'êra della formazione del granito e delle rocce schistose, azoiche e cristalline? Nol si può affermare, risponde, in via assoluta; ma lo si deve presumere: tanto più quando si consideri che, nell'ipotesi, dovevano formarsi dapprima una massa senza indizio alcuno di sedimentazione, quindi altre coi caratteri di questa, cioè prima dei graniti, poi dei gneiss, legati fra loro da insensibili transizioni, quali si presentano di fatto agli occhi nostri.

277. Ripeto, e ripeterò altre volte, che io non credo che la geologia sia matura

abbastanza, per varcare certi confini. L'ipotesi di Daubrée, già li oltrepassa, e quindi non può essere che una ipotesi. Forse un giorno, (io nol spero però) si scopriranno codesti primitivi sedimenti di un mare cocente sotto un'atmosfera di piombo. Ma se quei primitivi depositi vogliono trovarsi nei graniti, e peggio nel gruppo dei terreni detti *azoici*, sarà, lo sostengo, tempo gettato. Coi terreni detti azoici noi rientriamo entro i confini di quel regno, ove la geologia spazia abbastanza sicura. Quei graniti sono *lave*. Noi crediamo di averlo troppo sicuramente dimostrato nei capitoli precedenti, per potere conservare alcun dubbio in proposito. Soggiungeremo tuttavia sommariamente alcuni riflessi, risguardanti sia i graniti, sia i terreni detti azoici, per rendere ancora più sentita l'insussistenza dell'ipotesi.

278. I riflessi sono i seguenti:

1.° Ammessa l'ipotesi della sedimentazione dei graniti, come l'ammettono i nettunisti puri, essa sarebbe dipesa da una causa universale; dal peso dell'atmosfera, dalla temperatura, e dalle condizioni chimiche dell'acqua marina. Dovrebbesi dunque trovare ovunque un granito per base, e sovr'esso l'identica serie di terreni, con una gradazione costante, che corrisponda alla graduata diminuzione della pressione, della temperatura, e di tutte quelle condizioni, per cui l'acqua, dall'aver la virtù di produrre un granito, si riducesse alle condizioni attuali, in cui, per sè, non è capace di nulla deporre nei mari, se non o per azione meccanica sui continenti, o per opera degli organismi, o col sussidio delle sorgenti minerali. Nè il granito è dovunque alla base delle formazioni, nè vi ha ovunque la stessa serie graduata delle rocce cristalline fino a quelle di pretto sedimento. Le antiche formazioni hanno ovunque un *facies* cristallino; ma i terreni stratificati cristallini non si succedono ugualmente, presentando invece le più varie, e le più indefinibili associazioni.

2.° La transizione dovrebbe verificarsi ovunque tra i terreni azoici, e la più antiche rocce paleozoiche, cioè le siluriane. Queste invece talora presentano il *facies* prettamente sedimentare, come in America, in Inghilterra, in Boemia. Talora invece conservano il *facies* cristallino dei terreni azoici, come nelle Alpi, dove l'indole cristallina si mantiene in tutti i terreni paleozoici, e talvolta fino nel trias.

3.° Negli strati *azoici* si incontrano sufficenti indizî di vita vegetale e animale la quale non sarebbe concepibile collo stato dell'atmosfera e delle acque supposto dai nettunisti. Prescindendo dall'*Eozoon*, trovato nel cuore delle formazioni azoiche, della cui natura animale molti dubitano assai; i calcari, le antraciti, le grafiti (*Parte seconda*, § 919) rendono assai probabile, e forse certa, l'esistenza di piante e di animali sulle terre, e nei mari detti azoici. Il calcare di Musso, con conchiglie bivalve è intercluso molto profondamente nella serie de'micaschisti; e una zona calcarea, di forse 60 metri di spessore, si trova entro il dominio de'gneiss in Valtellina, presso Bormio, di poco superiore alla massa granitica di quella località.

4.° Supposto che le grafiti, le antraciti, i calcari non fossero d'origine organica, come si spiegherebbe la loro sedimentazione in un'epoca, in cui il mare aveva virtù di generare graniti, e rocce composte di silicati cristallini?

5.° Supposto che i mari dell'epoca detta azoica possedessero una così alta temperatura, e tale virtù chimica, da sciogliere i silicati e deporre graniti e altre rocce cristalline; come mai sui primordî dell'epoca siluriana, e precisamente nel periodo del Potsdam si scopre una fauna ricca, e tale che rivela dei mari nelle precise condizioni dei mari attuali (*Parte seconda* §§ 906-911)?

6.° Se i graniti sono sedimenti, e sedimenti universali, dipendenti da condizioni universali; perchè, invece di formare delle zone continue, come tutti i sedimenti, si presentano in gruppi isolati?

7°. È egli provato che i graniti non appartengano che all'epoca azoica, e che furono falsamente attribuiti ad epoche assai più recenti, e fino, come diremo, ai terreni terziarî?

Più di tutto io insisterò sempre sulle prove che attestano l'origine eruttiva del granito: e prima di volermi convincere che i graniti sono sedimentari, mi spieghino colla teorica della sedimentazione, le injezioni, i dicchi, le rocce intercluse, i fenomeni del metamorfismo di contatto, e del metamorfismo perimetrico.

X. Si combatte la teoria che attribuisce alle eruzioni presenti o passate il sollevamento delle montagne.

A che punto siamo? 279. — *Primo sguardo ai rapporti tra le forme sedimentari e le eruttive*, 280. — *Riflessi del geologo*, 281. — *Teoria dei crateri di sollevamento*, 282. — *Falsa in rapporto ai vulcani, come alle rocce eruttive*, 283. — *Fatti che si citano in favore*, 284. — *Il Jorullo descritto da Humboldt*, 285, 286. — *Come lo è da Saussure*, 287. — *Il Monte Nuovo*, 288. — *Origine dei monti vulcanici secondo Spallanzani*, 289. — *I vulcani non sollevano*, 290. — *Domi trachitici*, 291, 292. — *Grumi di lava*, 293. — *I vulcani occupano le sinclinali*, 294. — *Non formano centri ma linee*, 295. — *Parallelismo dei vulcani della Nuova Zelanda*, 296-298. — *La distribuzione dei vulcani del globo, nega la teoria dei crateri di sollevamento*, 299. — *Le rocce eruttive sollevate anch'esse*, 300. — *Il sollevamento è azione lenta*, 301. — *L'azione vulcanica violenta*, 302. — *Allineamento delle masse eruttive*, 303. — *Come si delineavano gli spaccati*, 304. — *Orizzontalità degli strati rispettata dalle masse eruttive*, 305. — *Le formazioni sedimentari indipendenti da loro*, 306. — *Esempi speciali*, 307. — *Graniti di Cristiania*, 308. — *Spaccati di Delesse*, 309, 310. — *Granito di Baveno*, 311. — *Sezione di Edimburgo*, 312. — *Vulcani dell' Italia centrale*, 313. — *Distretto di Auckland*, 314. — *San Jago*, 315. — *Giava*, 316. — *Trachiti del Reno*, 317. — *L' Eifel*, 318. — *Disposizione dei vulcani dell'Eifel in rapporto colle rocce sedimentari*, 319. — *Supposti crateri di esplosione*, 320. *I Maar di Daunn*, 321 — *Meerfelder maar*, 322. — *Conclusione circa i vulcani dell' Eifel*, 323. — *Gli espandimenti lavici*, 324. — *Mostrano che i vulcani non sollevarono*, 325. — *Il sollevamento attribuito alle masse eruttive alpine*, 326. — *Non sono che grandi espandimenti*, 327. — *Supposti strati intrusivi*, 328. — *Esempi di espandimenti*, 329. — *Piattaforma del Dekkan*, 330. — *Isola di Eigg*, 331. — *Colli Euganei*, 332. — *Dioriti e porfidi*, 333. — *Illusioni create dai grandi espandimenti*, 334. — *Tirolo meridionale*, 335, 336. — *Dintorni del lago di Lugano*, 337, 338. — *Distretti siluriani d' Inghilterra e Boemia*, 339. — *Alpi della Nuova Zelanda*, 340.

279. I precedenti *Capitoli* furono rivolti a sancire l'origine vulcanica delle rocce cristalline, composte, quelle comprese, le quali, come i graniti, volevansi derivate

altrimenti che dai vulcani. In queste indagini la scienza del vulcanismo si arricchì di tutti quei fatti, che risultano dal confronto delle moderne colle antiche lave. Ne risultò sopratutto l'origine vulcanica sottomarina delle lave antiche, in confronto colle moderne, in cui prevale l'indole subaerea: con che furono sciolte quelle difficoltà, le quali nacquero da una non esatta apprezzazione delle differenze che le antiche lave mostrano in confronto delle moderne.

Nel corso di queste indagini noi toccammo già di volo i rapporti che le rocce cristalline hanno colle formazioni sedimentari, o come dicchi injettati, o come espandimenti interstratificati. Già sin d'allora ci sorrideva l'idea che in tali rapporti tra le rocce vulcaniche, e quelle formazioni sedimentari di cui conosciamo l'origine non solo, ma la cronologia, e sulle cui pagine abbiamo letto così gran parte della storia del globo, si celasse, per dir così, un nuovo alfabeto, un alfabeto complementare, per cui la storia del globo non avesse più lacune da riempire, e tutta potessimo rifarla, per quanto almeno ci si concede negli angusti limiti della scienza odierna.

Ora siamo al punto di occuparci seriamente dei rapporti tra le formazioni eruttive e le sedimentari, che compongono, unite, quella che noi chiamiamo crosta del globo, la cui formazione è dunque dovuta all'unanime concorso delle forze esogene e delle forze endogene. Quelle intesero a fabbricare sedimenti, queste ad ammanire delle lave: il prodotto delle une è un lavoro, in cui si traducono, come nell'effetto la causa, le esterne rivoluzioni del globo; nel prodotto delle altre si svelano, e, in certa guisa, si perpetuano all'esterno le rivoluzioni interne: e d'esterne e d'interne rivoluzioni s'intesse la storia della terra, scopo della geologia.

280. Percorrendo una regione qualunque noi vediamo gli strati, che in origine erano fondi marini, raddrizzati sotto angoli diversi, contorti, spezzati, corrosi. Tutto accusa la potenza di ripetute dislocazioni, una continua alternanza di sollevamenti e di depressioni, un oscillare incessante della crosta terrestre, fin dai primordî dell'animalizzazione, e probabilmente assai più innanzi. Vedemmo come l'orografia, cioè il rilievo delle masse continentali, non sia che la risultante dei sollevamenti i quali fecero emergere, in cento forme, i fondi subacquei, e della erosione che intese continuamente a demolirli, o a ricacciarli sott'acqua. (*Parte prima*, Cap. XXII, XXIII.)

Non abbiamo però intanto badato a quelle masse d'origine eruttiva, che pigliano allora così gran parte alla formazione dei rilievi terrestri, che anzi in certe regioni prevalgono, e altrove formano da sole pizzi torreggianti, e quasi intiere catene, mostrando di essere tutt'altro che estranee ai movimenti, alle oscillazioni, alle rivoluzioni infine, dalle quali risultò la superficie del globo, ripartita attualmente com'è, in terre e mari. Ma qual parte presero esse le rocce eruttive, o meglio vogliam dire i vulcani che le vomitarono, alla fabbrica del globo? Fu essa attiva, o passiva? Mentre nel silenzio dei grandi laboratorî, collocati nelle profondità del globo, si elaborano i magma cristallini, e nelle tranquille profondità dell'oceano si depongono i sedimenti; perchè di tratto in tratto si interrompe il diuturno lavoro, e tra i fremiti della terra, che si agita e si contorce, si aprono gli abissi e i fondi marini sono sollevati alle stelle, e fissati nei campi dell'aria, e le viscere infuocate della terra si riversano, e gli occulti magma si confondono colle sabbie e coi fanghi, ove avevano sede i viventi? È questo lo spettacolo, che, rinnovellato le mille volte, si presenta all'immaginazione del geologo, il quale negli strati riconosce altrettanti mari, coperti di sedimenti, e nelle rocce cristalline, a loro associate così intimamente, altrettanti vulcani, che eruppero dalle ime viscere del globo.

281. Ma il geologo, che non immagina, ma ragiona, ammira il colossale spettacolo, poi riflette e dice fra se stesso così. — Io vedo attualmente sui fondi marini deporsi degli strati che imitano perfettamente tutte le varietà di queste formazioni, stratificate, rigurgitanti di reliquie organiche, e formanti l'ossatura delle montagne. Veggo d'altra parte cento e cento vulcani, distribuiti a intervalli sul globo, terrestri, insulari, sottomarini, intesi di tratto in tratto a riversare sulla superficie del globo delle masse cristalline, nelle quali riscontro pure la più perfetta corrispondenza con queste rocce cristalline, le quali anch'esse costituiscono così gran parte della ossatura delle montagne. Sento finalmente di tratto in tratto traballare la terra, anche nelle regioni più discoste dai vulcani, e mi accorgo che qua e là la terra lentamente si rigonfia, si solleva, mentre altrove pur lentamente si deprime. Non ho mai veduto però, nè sentito dire, che un vulcano abbia sollevato il fondo marino in tal guisa, che ne emergesse un'isola, una montagna, composta di strati sedimentari. Nè ho mai veduto, nè sentito dire, che su quelle aree immense, in Scandinavia, nella Groenlandia, ove la terra è attualmente in preda a forze che o la sollevano, o la deprimono, si sviluppasse un vulcano. Qui abbiamo dunque tre diversi ordini di fatti, in apparenza almeno, indipendenti La *sedimentazione*, il *vulcanismo*, le *oscillazioni della crosta terrestre*. Eppure in questo complesso, che mi sta dinnanzi, io scorgo i tre elementi mirabilmente associati. Veggo degli strati che furono fondi marini; veggo delle rocce cristalline, che erano lave; e gli uni e le altre sono intimamente associate, e il rilievo, per loro costrutto, proclama un sollevamento, forse due, tre, cento... anzi una alternanza continua di sollevamenti e di depressioni. — Tutto quanto dico il geologo finora è autorizzato ad asserirlo da quanto fu dimostrato e in questo e nei precedenti volumi.— Or bene, continua il geologo, qui bisogna scoprire l'agente di questi giganteschi sollevamenti. Non potendosi in questo processo attribuire agli strati sedimentari che una parte passiva, l'attività va cercata altrove. O sono le rocce che, nei tempi addietro, erompendo, sollevarono gli strati sedimentari, e raggiunsero elleno stesse, per virtù propria, l'attuale livello; o la parte attiva è prestata da un terzo elemento, che ebbe virtù di sollevare, in un solo complesso, gli strati sedimentari e le rocce cristalline.

Arrestiamoci a questo dilemma, proposto dal geologo, e cominciamo a cercare una risposta alla prima parte.

282. *Le rocce eruttive sollevarono esse le formazioni sedimentari?* — Questa fu infatti l'idea che dominò per tanti anni il campo della geologia, soggiogando i migliori ingegni, e nominossi *teoria dei crateri di sollevamento*. Questa teoria ci è già nota, come ci sono noti gli argomenti che ne dimostrano le falsità (*Parte prima*, § 850). Come si voleva che i vulcani sollevassero il suolo, a guisa di vescica intumescente che, crepando per il mezzo, dava sfogo agli interni fuochi; così si pretese che gli antichi vulcani, cioè le antiche rocce cristalline eruttive, avessero sollevato gli strati sedimentari. La teoria non esigeva nemmeno la necessità della eruzione, anzi la escludeva formalmente. Gli strati sollevati a modo di rigonfiamento potevano rompersi, o non rompersi; aprir l'uscita alla roccia impellente per dissotto, o non aprirla, produrre quindi un *cratere di eruzione*, o rimanere allo stato di semplice *cratere di sollevamento*. Si tratta, come ognun vede, di un punto fondamentale per la geologia: si tratta di sapere in che modo si formarono i rilievi continentali. La risposta che si può dare alla domanda: *se i vulcani sollevano sì o no*, è quella stessa che si deve dare all'altra domanda: *se le rocce eruttive hanno sollevato sì o no*. Eppure in pratica non è ancora così. Caduta la *teoria dei crateri di sollevamento* per

ciò che riguardava la formazione delle montagne vulcaniche, rimase ancora il corollario più importante derivato dalla teoria stessa. I geologi più moderni, i più accreditati, i più rivoluzionarî, non provano nessuna difficoltà a ripetervi lo cento volte in un libro che questi strati o quelli, quella o questa formazione, furono sollevati dal tal granito, dal tal porfido.... Si direbbe che la *teoria dei crateri di sollevamento*, esule dal campo della scienza, al pari di quella che diceva volubile il sole o ferma la terra, siasi ugualmente rifugiata nel linguaggio. Ma sono ben diverse le condizioni delle due rifugiate. Quella teoria astronomica vi si regge come una convenzione, che non induce nessuno in errore, esprimendo il fatto come si presenta ai sensi. Ma la teorica, figliata da de Buch, non regge nemmeno come convenzione; essa è contraria a tutti i fatti, quali si manifestano alla scienza del pari che ai sensi.

283. E che? dirò anch'io collo Scrope, l'osservatore vede l'accumulazione dei detriti vulcanici operarsi rapidamente sotto i suoi occhi: vede turbini di ceneri o di sabbie, grandini di lapilli e di pietre, coprire di potenti strati aree di centinaja di miglia: vede i torrenti di lava eruttata sovrapporsi; vede torrenti di fango accrescere i cumuli formati dalle lave e dal detrito: vede infine sollevarsi il cono, come si solleva un mucchio di grano, di sabbia, mano mano che si rovesciano, sul mucchio preesistente, nuovo grano, nuova sabbia: vede tutto questo; ma poi la scienza gli verrà a dire: no, t'inganni! il cono si forma come una vescica, che si gonfia, e crepa. Si videro l'Hecla, lo Skaptar Jockul, il Conseguina, eruttare in una sola volta quanto basterebbe a fabbricare una, due, tre volte il Monte Bianco; e ci si verrà a dire: bada bene che l'Hecla, lo Skaptar Jokul, il Conseguina, non sono che intumescenze, una specie di bubboni della crosta del globo?

284. Due soli esempi, nota lo Scrope, sono citati da Humboldt, in favore della *teoria dei crateri di sollevamento*, riferiti da testimoni oculari. Il primo è quello dell'isola Metone, di cui parla Ovidio nelle *Metamorfosi*. Il secondo è quello del Jorullo, visto da lungi da una popolazione spaventata e fuggente. Un terzo è armato da Dufrénoy, ed è quello del Monte Nuovo nella baja di Pozzuoli. Non staromini a controllare le *Metamorfosi*. Venendo invece al Jorullo, vediamo come la storia di quel celebre vulcano è esposta da due osservatori, che entrambi furono sul luogo molto dopo l'eruzione, ma prevenuti da idee opposte. Insisto su questo celebre avvenimento, perchè, dopo la descrizione particolareggiata che ne fece Humboldt, è divenuto lo scudo di Achille per la teorica dei crateri di sollevamento.

285. Siccome nessuno degli scienziati che parlarono del Jorullo ne vide l'eruzione, avvenuta verso la metà del secolo scorso; restano, soli documenti da interrogarsi, lo stesso vulcano, quale appariva molti anni dopo l'eruzione, e le tradizioni raccolte dalla bocca di spettatori fuggitivi. Cominciando da ciò che ne dice Humboldt, nel Volume IV° del *Cosmos*, l'eruzione ebbe luogo durante la notte dal 28 al 29 settembre 1759, in mezzo a vasta pianura, preceduta da due mesi di terremoti e di suoni sotterranei. Il giorno prima però gl'indigeni, che coglievano frutti in un bosco situato nel luogo stesso, ove ora sorge il Jorullo, ebbero i loro larghi cappelli di paglia coperti da ceneri vulcaniche. Si erano già dunque aperti dei crepacci, osserva lo stesso Humboldt, ed eruttavano ceneri e lapilli, senza che alcun cangiamento si notasse nella pianura. La cenere cresce: nelle prime ore di notte formava sul piano uno strato dell'altezza d'un piede. Tutti sono fuggiti; dalle alture di Agnasarco, a 2160 piedi (notate bene l'altezza e quindi la distanza degli spettatori) sul livello del piano, contemplano il paese in preda a una formidabile eruzione di fiamme, e in mezzo alle fiamme vedono levarsi un *castello nero*. Altri racconta d'aver visto la terra al-

Digitized by Google

zarsi perpendicolarmente: altri che il suolo gonfiossi, e divenne irto di vesciche, di cui la più grande è divenuta il Jorullo; e quelle vesciche crepnrono, vomitando pietre e fango bollente. Tutti si accordano in ciò, che, per parecchi giorni, forse per mesi, continuarono le pioggie di pietre, di scorie, di sabbie, di ceneri, e le eruzioni di fango. Questi prodotti non svanivano certamente nell' aria!... Nel 1803, quando Humboldt visitò il vulcano, vedevasi in mezzo al piano una specie di convessità, dell' estensione di oltre un terzo di miglio, il cui declivio, partendo dal piano, raggiungeva l' altezza di 444 piedi. Sei colli, o coni vulcanici, sorgevano allineati sopra una curva: il maggiore è il Jorullo, che attinge i 1100 piedi d' altezza sopra la sua base. Era un cono coperto, o meglio dirassi formato, di sabbia e di cenere, con una corrente di lava solidificata, uscita dalla sommità della montagna, ove vaneggiava un profondo cratere, ancora fumante. Migliaja di *hornitos* o conetti alti da 4 a 9 piedi, paragonati a forni da panattiere, erano disseminati sulla superficie della convessità. Humboldt li dice basaltici, e li descrive come composti di sfere disquamantisi, impastate in un fango molle, che ugualmente si squamava. Il tutto formava una massa molle, fangosa, attraversata da caldi vapori, senza lave nè scorie visibili. Sono questi i celebri *hornitos*, dei quali il De Buch scriveva allo stesso Humboldt, coll' enfasi di quel dogmatismo, che valse a mistificare i geologi, per mezzo secolo almeno: « i vostri *hornitos* non sono già coni, formati dall' accumulamento delle materie eruttive; essi si sollevarono immediatamente dal centro della terra!! »

286. Quattordici anni più tardi però, continua sempre l' Humboldt, Burkard trovava molti di quei coni sformati, avendoli le pioggie e l' azione atmosferica stemprati. Attenti bene all' ultimo inciso, che io tolgo dalla descrizione di Humboldt. In mezzo al piano sollevato o coperto di hornitos, si vedevano ancora i resti di un' antica eminenza, sopra la quale era edificata la ferma di S. Pedro!!! Humboldt non si dissimula la difficoltà di conciliare questo fatto colla idea di sollevamento, che alzò il paese, fino a formarne delle eminenze di migliaja di piedi d' altezza. Si rimane storditi, egli scrive, quando si scorge quella eminenza ancora sussistente ai piedi del vulcano, e solo coperta in parte di sabbia e di lapilli. Sollevandosi il paese di 1500 piedi, poteva quella eminenza rimanersi al suo posto, senza nessuna alterazione di livello? ma vi rimase appunto, perchè, essendo una eminenza, restò emergente dai cumuli di lave o di detriti che ne investivano la base.

287. Vediamo in fatti come è descritto il Jorullo da un altro intelligente osservatore, a cui non facevano benda agli occhi nè una falsa teorica, nè le eccelse autorità che le furono sostegno. Il De-Saussure scriveva nel 1859 (*Bull. Soc. Vaudoise*, Tomo VI. 1861) che il Jorullo non è punto il risultato di un sollevamento, ma, come ogni rilievo vulcanico, d' un *travasamento* e d'un accumulamento. Le lave si versarono dal loro orifizio, e, come viscida corrente distendendosi sopra una superficie rugosa, formarono ai loro confini promontorî e golfi. Bisogna che essa lava fosse assai densa, se quella specie di sacco, il quale delinea, come è il caso solito delle lave, i confini del suo espandimento, forma sulla superficie primitiva un cordone o gradino da 8 a 30 piedi di altezza. È questo rilievo che da Humboldt fu attribuito ad un taglio, prodotto dal sollevamento, per cui quella specie di calotta, chiamata il *Malpais*, venne elevata. Quel mare di lava è il risultato di diversi sgorghi, i quali, succedendosi sempre più ristretti nel loro espandimento, si sovrapposero in guisa da formare una gradinata, che, dai limiti del *Malpais*, conduce ai piedi del cono. Si

Digitized by Google

contano quattro gradini principali. Ecco come il paese appare rigonfio. Sarebbe però ancora troppo meraviglioso un rilievo di 444 piedi, per semplice accumulamento delle lave. Ma Saussure fa osservare come l'autore del *Cosmos* descrisse molto male il paese, dicendolo un piano. Il luogo ove sorge il Jorullo non è punto un piano, ma una valle; e il vulcano si aprì precisamente sul pendio orientale di essa, in guisa che le lave scorsero sopra un declivio. All'altezza del rilievo formato dalle lave va dunque sottratta l'altezza dal pendio. Quanto ai coni del Jorullo, il massimo del pari che i minimi, essi non sono che altrettanti cumuli di scorie, ceneri, lapilli. Dalla vetta del cono principale si riversò un'ultima corrente di lava, che pende raggrumata sopra i suoi fianchi. I celebri *hornitos* poi non sono altro che quei conetti (cônes de boursouflement) formantisi sulla superficie stessa delle lave eruttate, per effetto del continuo svilupparsi de' vapori.

288. Dirò più brevemente della eruzione del monte Nuovo. Dufrénoy si appoggia a un testo di Porzio, il quale, parlando di quella eruzione, dice che un gran tratto di terra, tra il monte Barbaro e il mare presso il lago Averno, sembrava sollevarsi *et montis subito nascentis figuram imitari.* Ma l'eruzione del monte Nuovo è ben altrimenti descritta da altri autori contemporanei, tra gli altri da Giacomo di Toledo. Egli scrive che il piano tra il lago Averno ed il monte Barbaro fu *un poco sollevato*, e si produssero delle fessure. Il 29 settembre 1538 la terra si aprì e mostrò una formidabile bocca da cui uscivano fuoco, fumo, fango di cenere e pietre di grossezza enorme, che salivano e scendevano, ricadendo ora nel cratere, ora fuori del cratere. Il fango, dapprima liquido, poi divenuto più spesso o più abbondante, in concorso colle pietre, formò in meno di 12 ore, una montagna di 1000 passi di altezza. L'eruzione durò due notti e due giorni. Il terzo giorno l'autore salo il monte, e può guardare in fondo al cratere. L'eruzione ripiglia il quarto giorno, o si rinnova il settimo. Ognun vede come il monte Nuovo non si distingue per nulla dagli altri coni vulcanici: si distingue soltanto da molti di essi, perchè nessuna corrente di lava ha concorso ad edificarlo. Anche chi lo visita in oggi trova che il monte Nuovo è un vero mucchio di fango e di pietre, e si domanda come mai sia potuto cadere in mente ad alcuno di crederlo formato da un rigonfiamento del suolo, a guisa di tumida vescica.

289. È singolare davvero che la teoria, così semplice, così naturale, della formazione dei coni vulcanici per sovrapposizione di successive dejezioni, è quella, come osserva lo Scrope, di tutti i geologi, anzi dei più celebri vulcanisti, prima che la teoria dei crateri di sollevamento ammaliasse fatalmente, non si comprende come, il mondo geologico. È la teorica di Saussure, Hamilton, Dolomieu, ecc. È poi con speciale soddisfazione, che noi la troviamo esposta, con tanta precisione e chiarezza, dal nostro Spallanzani, nei seguenti periodi, citati pure da Scrope. Descrivendo la formazione di Salina, una delle Eolie, come composta di strati di lave e di scorie successivamente sovrapposte, distinti d'epoca, diversi di natura, e discendenti dalla vetta del cono al mare, così prosegue: « Convien dunque dire che tante siano state le correnti dalle parti più alte della montagna al sud, quanti si contano gli strati distinti di lave. Ed è verisimile che, se potessimo penetrare nel nocciolo dell'isola, tutta o quasi tutta si vedrebbe somigliantemente configurata. *Questa certamente è la genesi di quasi tutti i monti vulcanici.* Da principio sono tenue cosa. Proporzionati cioè alla mole della prima eruzione. In ragione poi del numero e della estensione di queste, si aumentano di massa e di volume, e a capo di poco tempo acquistano

considerabile ampiezza. Tale diffatti sembra essere stato il producimento dell'immenso corpo dell'Etna, tale quello del Vesuvio, dell'isole di Lipari, e di più altre ardenti montagne. Non negando io però che alcune siano figliuole d'una sola eruttazione, come è avvenuto al monte Nuovo presso Pozzuolo, e al monte Rosso sui fianchi dell'Etna (*Viaggi alle due Sicilie*, Tom. 2, pag. 137). »

290. Così ragionava lo Spallanzani, e così deve ragionare chiunque visiti, anche di fuga, un distretto vulcanico. I vulcani nè sollevano, nè hanno sollevato mai. Nel momento dell'eruzione la terra si apre, e una spaccatura lineare, più o meno lunga, costituisce in origine il cratere. Essa spaccatura si allunga sovente in seguito alle ripetute eruzioni, sicchè, come già sappiamo, può attingere la lunghezza di oltre 300 chilometri, come nella celebre eruzione dello Skaptar-Jokul nel 1783, e sul prolungamento della spaccatura si allineano successivamente i coni, fino a 30 in una sola eruzione, come avvenne in quella di Lancerote nel 1738. Col sovrapporsi dei materiali detritici, e delle correnti di lava, il cono si rizza fino all'altezza dell'Etna e del Chimborazo, coprendo colle larghe sue basi quegli stessi terreni da cui eruppe il vulcano.

In questo sistema d'edificio vulcanico le correnti di lava non figurano che come liste di un mantello, scendenti dal cono. La loro inclinazione, dovuta al pendio su cui discesero, come una lagrima di cera scorre e si arresta sul fianco, benchè verticale, della candela, fu malamente ritenuta come indizio di sollevamento.

291. Trovo però opportuno di qui notare alcune modalità delle masse laviche, anche subaeree, le quali non rispondono precisamente al tipo di correnti scorrenti da un pendio.

Abbiamo già descritto le rupi basaltiche o trachitiche di Aussig, e del Siebengebirge, che a prima giunta si piglierebbero per masse, levatesi verticalmente dall'interno del globo. Così spesso si rizzano ben alto, sul suolo circostante, fantastiche rupi di porfido, di diorite, di graniti. Non illudiamoci però. La maggior parte di quelle rupi, come abbiam detto, e come è facile verificare, non sono che dicchi, denudati dall'erosione, che degradava i terreni più molli all'ingiro.

Esistono però delle masse di lava, che hanno l'aria di essersi sollevate verticalmente, e sorgono talora dal mezzo di un cono, occupando una parte centrale del cratere. Noto che tale forma è presentata, forse esclusivamente, dalle trachiti, lave porfiroidi, le quali, per molti indizi debbono ritenersi originariamente assai pastose, lentissime a scorrere, presentandosi, anche quando han forma di correnti e di espandimenti, in masse corte, spesse, a foggia di giganteschi grumi. Come mai quelle trachiti occupano talora il centro del cratere, e hanno vista d'essere sorte verticalmente dal cratere stesso, e d'essersi arrestate in forma di eminenza, quasi fossero già consolidate?

Osservo che i *domi trachitici*, chè così si chiamano quelle masse, hanno la forma di un mucchio, di un cono arrotondato, di una *campana*. Supponete, collo Scrope, che da un foro praticato in un piano orizzontale, schizzassero, injettate dal basso all'alto, della cera, o dell'argilla, in uno stato tra il liquido e il pastoso. La cera e l'argilla ripiegandosi sopra sè stesse, e sovrapponendosi a cordoni, a dischi concentrici, finirebbero ad edificare un monticolo, sovrapposto all'orifizio, in forma di cono arrotondato. È ciò che si verifica di fatto entro i crateri di Bourbon e delle isole Hawai, ove le lave, estremamente vischiose, sgorgando tranquillamente, si espandono ad onde circolari, a foggia di cordoni, che, sovrapponendosi, formano dei monticoli alti fino a 50 metri. Meglio che la descrizione valga la figura di una di tali protube-

ranze, osservata sulla sommità di Bourbon, da Bory de Saint-Vincent. — Io la piglio dallo Scrope (*Les volcans*, pag. 135).

Fig. 6. — Monticolo centrale o collina di lava vitrea sulla sommità del vulcano Bourbon.

292. Se anche i vulcani attuali ci avessero dato delle lave più cristalline, a impasto più grossolano, a temperatura forse meno elevata, coi caratteri infine di certe trachiti eminentemente porfiroidi; in luogo di scorrere come liquido correnti, esse si sarebbero accumulate verticalmente sugli orifizî vulcanici, o sarebbero rimaste appiccicate, a guisa di grumi giganteschi, sui fianchi dei coni. Ad ogni modo i vulcani attuali ci danno degli esempî sufficienti per spiegare l'origine dei celebri *domi trachitici* della Francia centrale, tra gli altri del Puy-de-Dôme, del Sarcouy e del Cliersou, cumuli di domite (trachite) in forma di campana, levantisi dal cratere di un cono di ceneri o di detriti vulcanici, in guisa da accennare indubbiamente ad una massa di lava, eminentemente pastosa che, sorgendo dal fondo del cratere, in luogo di riversarsi, come d'ordinario, da esso, quasi da una caldaja, si accumulò sopra sè stessa. Lo Scrope (*Les volcans*, pag. 134.) ci dà la figura del Grand Puy-de-Sarcouy, campana trachitica, sorgente tra il piccolo Sarcouy e il Puy-de-la-Goutte, due coni di ceneri nell'Alvernia, che io qui ricopio.

Fig. 7. — Puy di Sarcouy; domo trachitico sorgente tra il Puy-de-la-Goutte e il piccolo Sarcouy; coni di ceneri nell'Alvernia.

La perfetta somiglianza tra quel cumulo e il colle di lava vitrea sulla sommità del vulcano Bourbon (*Fig.* 6), rende ancor più probabile l'identità d'origine dei due. Scrope attribuisce la stessa origine ai cumuli trachitici, che si scoprono in fondo agli spenti crateri di Astroni, di Santa Croce, di Rocca-Monfina, di Camaldoli, ecc.; ed esempî a più grande scala ne fornisce l'America nelle grandi cupole trachitiche delle Ande, descritte da Humboldt col nome di monti a campana, cumuli trachitici, elevantisi fino a mille metri di altezza verticale.

293. Quando gli sgorghi di lava eminentemente pastosa siano tali, che debbano pure rovesciarsi sui fianchi del vulcano, assumeranno anch'essi la forma di correnti, ma di una corrente scorrevole in minimo grado. Vedremmo allora come sgorgo si addossa a sgorgo, formando un grumo gigantesco, quale in miniatura veggiamo foggiarsi per la sovrapposizione delle colature di cera, che sgocciolano da una candela, e rapidamente si raffreddano. Tali correnti grumose acquisteranno naturalmente uno spessore enorme in proporzione della loro lunghezza. Di tali grumi, o correnti corte e spesse, offrono saggi a josa le regioni trachitiche. L'enorme massa trachitica di Olibano, sgorgata dalla Solfatara di Napoli, le rupi pittoresche di trachite che ingrumano i Colli Cimini sopra Viterbo, la meravigliosa corrente di lava che discende dal monte Venere fino al piano del gran cratere del lago di Vico che lo cinge, sono saggi meravigliosi di formazioni di questo genere.

Tali forme eccezionali, anzichè servir d'appoggio alla teoria dei crateri di sollevamento mostrano come falsamente la pendenza delle masse di lava, talora molto risentita, fu citata come argomento in prova del sollevamento da loro sostenuto dopo la loro emissione. Le lave, non solo possono arrestarsi, a mo' di grumi, sopra qualunque più erto pendio, ma sono capaci di accumularsi verticalmente, per sovrapposizione di strati.

294. È tanto vero che i vulcani non sollevano, nel senso principalmente voluto dalla teorica di De Buch, che spesso invece occupano il vano di una depressione, e precisamente le sinclinali prodotte dai sollevamenti. Nelle Cordillere del Chili, per esempio, si osserva, secondo Darwin, un sistema di catene parallele anticlinali. Le lave eruppero sovente dalle pieghe sinclinali.

295. Se la teoria dei crateri di sollevamento fosse vera, la disposizione naturale dei vulcani sarebbe tale che ciascuno formasse un sistema centrale, in vetta ad un rigonfiamento, il quale declinerebbe, radiando dal vulcano come da centro. Invece non abbiamo che a richiamarci quanto abbiamo detto (*Parte prima*, cap. XXX) tanto sui distretti vulcanici, quanto sull'intero sistema dei vulcani del globo, per persuaderci, come la disposizione dei vulcani, e in piccolo e in grande, presenta quanto vi ha di più opposto alla centralizzazione, intendendo invece alla massima espansione, che è quella dei sistemi lineari. Di più noi troviamo che i vulcani, in luogo di occupare la sommità dei rilievi, si tengono invece alle basi di essi. Di questa disposizione dei vulcani in serie lineari, parallele fra loro e parallele ai grandi rilievi di cui occupano le basi, ci danno esempio, non dirò alcuno, ma tutti i distretti vulcanici del globo. Anche la gran zona vulcanica dell'Italia centrale e meridionale non è ella un gran sistema allineato alla base degli Appennini, che sorge precisamente sopra una linea di confine tra il rilievo della penisola e il mare?

296. Ma per citare un esempio del pari brillante che nuovo, osserviamo il gran sistema dei vulcani della Nuova Zelanda, descrittoci così meravigliosamente dal signor Hochstetter (*New Zealand* 1867). La Nuova Zelanda è costituita da due isole principali, l'Isola meridionale e l'Isola settentrionale. L'Isola meridionale è sostenuta da una grande catena, le cui vette si elevano fino a 13200 piedi. È una vera catena alpina, composta di rocce antiche, sedimentari ed eruttive, di formazioni paleozoiche, porfido, graniti, ecc. Continuandosi a guisa di spina dorsale su tutta l'isola, interrotta momentaneamente dallo stretto di Cock, rinasce sull'Isola settentrionale, dove continua, sempre diretta da sud-ovest a nord-est, formando montagne di 5000 a 6000 piedi. I cento vulcani, o attivi o spenti da poco, di quella terra eminentemente vulcanica, sono tutti invariabilmente disposti alla base di quella grande catena, ben-

chè si elevino al punto da emularne le vette più eccelse. Sull'Isola meridionale sono picchi trachitici, alti fin 6800 piedi, andesiti, fonoliti, tufi, amigdaloidi, formanti un sistema parallelo all'asse della grande catena. Non presentando nè crateri, nè vere correnti di lava, accennerebbero, per mio avviso, a un sistema di vulcani sottomarini, allineati alla base dell'isola, prima che questa avesse acquistato tutto l'attuale rilievo. Hochstetter infatti li dice probabilmente d'epoca terziaria. Ma parallela alla descritta catena eruttiva, però più all'est, e quindi più ancora alla base del grande rilievo, si distende un'altra catena di vulcani, parallela alla prima, le cui sommità si alzano da 2000 a 3000 piedi. Le correnti di domito e di basalte, e i crateri che, aperti verso il mare, costituiscono i porti dell'isola, affermano l'origine subaerea di quei vulcani, ora interamente spenti.

297. Sull'isola settentrionale il vulcanismo è in pieno vigore. Un gran sistema di vulcani e di manifestazioni secondarie della vulcanicità, occupa una piattaforma, che si dilata dalla base delle montagne che fiancheggiano l'Isola a sud-est. Alti coni trachitici, colla fisionomia dei veri vulcani, piccoli coni basaltici in gran numero, sorgenti termali, stufe ove fischia il vapore, *geyser* che riversano torrenti di acqua bollente, fumajuoli, solfatare, tutto in fino attesta un gran sistema di fessure, aperte alla base della grande catena, per cui l'interna attività del globo si sfoga attraverso mille spiragli. Ma quei vulcani, quei *geyser*, quelle solfatare, non sono punto nè disseminati senz'ordine, nè in verun modo centralizzati. Formano invece tre distretti, ossia tre zone vulcaniche, tutte ad ovest della catena principale, tutte parallele ad essa, e quindi parallele fra loro. È singolare che le zone vulcaniche, sempre mantenendo il parallelismo colla principale catena, si trovano però ad est di essa nell'Isola meridionale, ed a ovest nell'Isola settentrionale. Il segreto di tale disposizione sta sicuramente nella natura geologica dello Stretto di Coock; ma ciò non interessa per ora il nostro scopo.

298. La prima delle tre zone accennate è attivissima, e si trova contigua, cioè propriamente alla base della grande catena. Hochstetter la chiama *zona del lago Taupo*. Comincia a sud-ovest coi due *giganti* il Rua-pahu e il Tongarino. Il primo, alto 9000 piedi, e coperto di nevi eterne, pare interamente estinto. Il secondo, si leva 6000 piedi, con due ampi crateri fumanti allo stato di solfatara. Circondano i *Giganti* la *moglie* ed i *figli*, coni vulcanici minori, estinti. Il paese all'ingiro è tutto formato di *riolite* (nome con cui voglionsi ora distinte le trachiti quarzose), e di pomici. Dal gruppo dei *giganti* va il paese inclinando verso nord est fino alla baja di Plenty, ove, a poche miglia dalla costa, sorge l'isola Whakari, o isola bianca, il secondo cratere attivo dell'isola, da cui si levano colonne di bianco fumo, e in cui si termina la zona vulcanica più orientale, rivelando una grande spaccatura, che fende tutta l'isola da sud-ovest a nord-est, e misura una lunghezza di 120 miglia marine. Sopra la linea che congiunge i due crateri attivi bollono le sorgenti, si slanciano i *geyser*, fischiano le stufe e sbuffano i fumajuoli attraverso i mille crepacci, da cui eruppero in altri tempi le lave, le quali ricoprono il paese.

Le altre due zone vulcaniche appartengono alla lunga penisola in cui termina a nord-ovest l'isola settentrionale. Benchè spente, sono più giovani della zona del Taupo, colla quale mantengono uno stretto parallelismo. La prima delle due è la *zona di Auckland*, che attraversa l'istmo di questo nome, e numera non meno di 63 punti di eruzione. L'altra più a nord, *la zona della baja dell'isola*, corrisponde pei caratteri geologici a quella di Auckland e conta parecchi coni, e sorgenti calde e solfatare.

Digitized by Google

299. Ma che vale descrivere parziali distretti, se abbiamo già veduto (*Parte prima*, cap. XXX) che tutti i vulcani del globo costituiscono un grande sistema lineare, che disegna il perimetro di tutti i continenti, che si svolge precisamente sui limiti tra le terre e i mari, che si mantiene in fine invariabilmente alla base dei rilievi del globo?

Abbiamo veduto come la grande catena dei vulcani allineati sulle coste del Pacifico, alla base delle Ande e delle Cordillere; la catena dell'Atlantico, la quale si afferma per una serie di vulcani insulari sorgenti nel mezzo della grande depressione che, in forma di valle, separa l'antico dal nuovo continente; la grande catena che cinge di isole vulcaniche il continente asiatico, dal Mar Rosso allo Stretto di Behring; la stessa catena che s'insinua nel Mediterraneo, passando della Spagna all'Italia, dall'Italia alla Grecia, dalla Grecia alle regioni del Caucaso, della Persia, del Caspio e dell'Aral, tracciando, con una linea irta di mille vulcani, la più profonda e la più vasta delle depressioni intercontinentali; abbiamo veduto, dico, che tutte queste catene vulcaniche si uniscono a formare una sola linea, con flessuosità e diramazioni, che si riducono ad un solo sistema, il quale segna precisamente i limiti tra i continente e i mari, tra quelle parti della crosta del globo che si sollevarono e quelle che si depressero. Questo, che si può dire il fatto più grandioso della geologia attuale, è una grandiosa negazione di una teorica, la quale ha già troppo tiranneggiato il mondo scienziato; ed è invece una splendida affermazione di quanto vi ha di più contrario ad essa teorica. I vulcani, invece di sollevare, tennero dietro al sollevamento: invece di esserne la causa ne furono l'effetto. Ciò che è affermato dagli attuali vulcani, lo è dagli antichi, cioè da quelle rocce cristalline, le quali attestano l'esistenza dei vulcani, fino anteriormente alle epoche paleozoiche.

300. Sia che si osservino le rocce eruttive, sia che si guardi alle sedimentari, a cui sono associate, tutto parla in sfavore di un sollevamento operato da quelle e sofferto da queste. Osserviamo dapprima che, se le rocce sedimentari sono in genere strati sottomarini, le rocce eruttive sono in genere lave sottomarine. Si domanda adunque: dato che le rocce eruttive abbiano sollevato le sedimentari, a chi appartiene poi di produrre il sollevamento delle rocce eruttive sottomarine, che vediamo coronare le vette più eccelse del globo?

301. Richiamo in secondo luogo come le rocce sedimentari accennano a sollevamenti, a movimenti in genere, operati con tale lentezza, che non si trovano epiteti da esprimerla. Noi abbiamo espresso e commentato questo concetto (*Parte prima*, §§ 341 e 342) parlando delle curve, delle flessuosità, dei contorcimenti d'ogni genere, fatti subire a masse di strati dello spessore di migliaja di metri, senza che per questo si rompessero. I movimenti attuali della Danimarca, della Scandinavia, della Groenlandia, ci danno del resto un'idea adeguata di quella secolare lentezza, per cui cento anni si richiedono ad un sollevamento del valore di 5 a 7 centimetri.

302. Ben diversamente agiscono i vulcani. L'eruzione è fenomeno d'indole violenta. Si annuncia con urti e scosse, e si manifesta poi coll'impeto e colla rapidità di una esplosione. L'eruzione spezza, sposta, non solleva. Le alterazioni di livello che si manifestano soventi in occasione delle eruzioni; sono la necessaria conseguenza della frattura di una massa rigida qualunque: si verificano entro limiti ben angusti: sono d'un valore per nulla considerevole: infine non hanno nulla a che fare con quel sollevamento, a cui si devono le catene delle montagne e i rilievi dai continenti. Ben lungi dal ripiegarsi, gli strati si lasciano piuttosto rompere e sbranare dai vulcani.

I frequenti massi di rocce sedimentari e sparse nelle lave del Somma, in quelle dell'Eifel e di tutti i vulcani del mondo; i conglomerati di frizione che fiancheggiano i dicchi vulcanici di ogni età; accennano a questa azione violenta dei vulcani, diametralmente opposta a quella lentezza, e direbbesi potente soavità, che è accusata dal sollevamento dei terreni sedimentari. Il sollevamento dice un'azione vasta. L'andamento uniforme, la direzione costante degli strati, come degli assi delle sinclinali e delle anticlinali sopra intere regioni, dice un qualche cosa di agente sopra aree così vaste, che il vulcano, per quanto se ne allarghino i domini, figurerà sempre come un agente localizzato, angustiato.

303. Le antiche rocce eruttive dividono cogli attuali e coi recenti vulcani tutti quei caratteri atti ad escludere ogni idea, che abbiano operato come agenti sollevatori. Anche le rocce cristalline antiche affettano quel sistema lineare, e quel parallelismo, che abbiamo notati come caratteristici degli attuali vulcani. Pigliate qualunque carta geologica, che comprenda una regione appena vasta: le rocce cristalline d'ogni età e d'ogni nome voi le vedrete in masse isolate, che si succedono sopra certe linee ben definite, parallele in genere alla direzione degli strati sedimentari. I graniti, le dioriti, i serpentini, così si allineano, formando diversi sistemi paralleli alla grande catena delle Alpi. Alla base delle Alpi sorgono le Prealpi; ed è maraviglioso il vedere come i porfidi, che in mille punti sbucciano sul suolo lombardo, delineano appunto una zona regolarissima, che dal Lago Maggiore si spinge fino al lago di Garda, e di là nel Tirolo, sempre parallela alle Alpi ed alle Prealpi. In mille punti i serpentini si fecero strada sulla penisola italica. Riunite quelle masse, così fitte principalmente nella Liguria e nell'Emilia, e vedrete quale meraviglioso sistema lineare, e quale stretto parallelismo col grande rilievo dell'Appennino.

304. Se, rinunciando alle grandi vedute, ci restringiamo ai rapporti immediati tra le rocce eruttive e gli strati sedimentari, allora tutto è contraddizione alla teorica che attribuisce a quelle il sollevamento di queste. Quali dovrebbero essere questi rapporti voluti dalla teorica? La roccia eruttiva dovrebbe figurare nel mezzo; gli strati sedimentari appoggiarsele, inclinando in senso opposto dall'una e dall'altra parte, o, per dir meglio, mantenendo una inclinazione quaquaversale. Così in fatti vedrete delineati in genere gli antichi spaccati, tirati giù, per sventura, un' po' troppo, come si dice, a lume di naso. Era tanto ferma la fede nel gran dogma stabilito da De Buch e abbracciato da Humboldt, che bastava aver visto degli strati a fianco di una roccia cristallina, per ritenere che, qualunque ne fosse l' inclinazione, quegli strati dovevano finire ad appoggiarsi alla massa eruttiva, e a rivestirla a guisa di mantello. Se poi si vedeva che sul fianco destro di una massa eruttiva, gli strati inclinavano, supponi, a nord; era inutile portarsi a verificare il fianco sinistro, dove certamente gli strati inclinavano a sud. E così si riempirono i libri di spaccati immaginarî, che hanno il vantaggio di rendere dubbioso anche ciò che hanno di vero; poichè, se una volta vi portate sui luoghi, trovate troppo spesso che ciò che si vede è affatto contrario a ciò che si è veduto.

305. I rapporti immediati tra le rocce eruttive e le sedimentari sono così varî, così lontani dal piegarsi ad un sistema, che, a prima vista, si è tentati di credere non esservi nessun rapporto tra le une e le altre, salvo quello di una accidentale juxta-posizione. Non si può nemmen dire che le rocce eruttive appajano di preferenza nelle regioni più tormentate. Nella provincia di Vittoria (Australia) dove gli schisti paleozoici sono traforati da basalti, alternanti con strati miocenici, e questi e quelli da basalti recenti; dove le formazioni vulcaniche si distendono sopra un' a-

rea di 5600 chilometri quadrati; l'orizzontalità degli strati sedimentari, giusta le osservazioni di M. Brough Smyth, non è punto alterata (Scrope, *Les volcans*, pag. 485).

306. Uno dei più profondi conoscitori delle Alpi, l'ingegnere Gerlach, di cui speriamo veder presto pubblicati i grandi lavori sulla regione forse più problematica di quella catena, cioè sul gruppo del monte Bianco, mi asseriva, come ultimo risultato de'suoi studî, che nessun rapporto esiste tra le masse eruttive e le sedimentari, le une e le altre tanto sviluppate in quella catena. Ben inteso che questa sentenza va ritenuta limitatamente alla teorica che attribuisce alle rocce eruttivi il sollevamento delle sedimentari. Richiamatevi infatti ciò che abbiamo osservato più sopra circa l'andamento dei grandi rilievi. Le formazioni sedimentari, sollevate a grandi pieghe parallele, prendono una data direzione, e la conservano per centinaja di miglia. Interrotte da valli, da laghi, da piani, ripigliano più oltre il loro rilievo, la loro direzione, continuandosi di catena in catena, e, se fa d'uopo, di continente in continente. Le rocce eruttive sorgono qua e là, talora in piccole, talora in grandi masse; qui si isolano, là si aggruppano, fino a formare dei veri distretti vulcanici o eruttivi. Le formazioni di sedimento non sembrano badarci; non se ne risentono punto: rotte dall'apparire di una massa cristallina, ripigliano oltre la massa stessa il loro cammino colla stessa direzione, colla stessa inclinazione. Osservate la Lombardia. Quanti graniti, quante dioriti, quanti serpentini, quanti porfidi, si mostrano sporgenti talora in piccole, talora in masse veramente colossali e nelle Alpi e nelle Prealpi. Ma nulla potè impedire che tutte le formazioni lombarde, allineate sopra altrettante zone parallele, attraversassero tutta la Lombardia, con una una direzione, quasi invariabile ONO-ESE.

307. Ma ancora siamo alle vedute generali. Prendiamo ora le singole masse, piccole o grandi che siano, aventi la forma del dicco; quella cioè delle rocce, che eruppero immediatamente attraverso alle rocce sedimentari, i cui rapporti di causa e di effetto, se realmente esistono, devono rivelarsi immediatamente. Scegliete, tra i molti spaccati pubblicati dagli autori, quelli che possono ritenersi più fedeli, perchè specializzati, perchè limitati a località ristrette, perchè delineati in base a studî pratici, e non a generalizzazioni teoriche. Quando li avrete scelti, vi risulterà evidentissimo questo fatto: che la spaccatura, per cui la roccia eruttiva si insinuò, e gli spostamenti, e i sollevamenti degli strati sedimentari, tutto è anteriore all'emersione, e che questa, invece di essere la causa dello spostamento, ne fu l'effetto. Sì, lo dico ora, e continuerò a dimostrarlo: le eruzioni avvennero perchè prima la crosta terrestre si ruppe; le masse eruttive penetrarono per quella via che trovarono aperta. Scelgo dagli autori e dalle mie note particolari alcuni spaccati i più atti a dimostrare quanto asserisco.

308. Se gli spaccati della formazione siluro-granitica di Cristiania, offerti da Lyell (*Manuel*, II, pag. 412, 413, fig. 700, 701) sono fedeli, non si possono desiderare migliori esempî, per dimostrare quanto sia falsa la teorica de' crateri di sollevamento. Nel primo spaccato (fig. 8) vedesi il granito, emergere attraverso gli strati siluriani, e intrudervisi.

Fig. 8. — Granito di Cristiania nella formazione siluriana. — *a*. *Granito* — *b*. *Strati siluriani*.

Digitized by Google

Ma gli strati siluriani hanno la stessa inclinazione da entrambo i lati della massa granitica. Nel secondo (fig. 9) la massa granitica attraversa il gneiss, il quale ha pure la stessa inclinazione sui due lati. Che più? Il gneiss, fortemente inclinato, sopporta gli strati siluriani, a stratificazione quasi orizzontale, e questi sono del pari attraversati dal granito, che injetta le sue vene nell'uno e negli altri. Il granito è dunque posteriore al siluriano, e il gneiss, per conseguenza, era già sollevato quando vi si fe' strada il granito, il quale non dà indizio di aver mosso nè il gneiss, ne gli strati siluriani, che lo ricoprono. Nel primo e nel secondo profilo non si rivela che una spaccatura, la quale aprì la strada al granito.

Fig. 9. — Granito di Cristiania nel gneiss e nel siluriano. — *a. Granito.* — *b. Gneiss.* — *c. Strati siluriani.*

309. Diamo ora un'occhiata agli spaccati delineati da Delesse in tre tavole, a corredo de'suoi *Études sur le métamorphisme*. Essi presentano un gran numero di esempi, in cui le rocce eruttive si trovano in rapporto immediato colle rocce sedimentari. Trascurando le figure che non presentano verun interesse, per rapporto alla nostra questione, ne novero 39, ove i rapporti tra le rocce stratificate e le massicce sono espressi con tutta evidenza. Ci abbiamo ogni genere di roccia eruttiva, dalle lave terziare al protogino; come ci abbiamo tutte le dimensioni delle masse eruttive, dal filone al dicco, e dal dicco ai colossi porfirici o granitici, compresavi, per esempio, la massa granitica del San Gottardo.

Or bene 9 soltanto di quegli spaccati presentano tale disposizione degli strati sedimentari, che si concilii colla teorica, la quale ripete dalle rocce emersorie il sollevamento, il raddrizzamento degli strati. Cinque di questi non presentano che un solo lato della massa eruttiva, a cui si appoggino normalmente, come è voluto dalla teorica, gli strati sedimentari, sicchè non rimangono che 4 spaccati, in cui l'inclinazione bilaterale, opposta, divergente dal centro dalla massa eruttiva, presti un argomento qualsiasi ai sostenitori dei crateri di sollevamento; e questi 4 non sono nè i più particolareggiati nè i più convincenti.

Dei 30 che rimangono, 9 presentano semplici espandimenti sulla superficie delle rocce sedimentari, la cui stratificazione non ha quindi nessun rapporto di origine colla roccia eruttiva.

Rimangono 21, ove l'inclinazione degli strati offre ogni caso possibile, eccetto quello voluto dall'*ipotesi dei crateri di sollevamento*, riducendosi la massa eruttiva alla forma del dicco, grande o piccolo che sia. In 6 di questi gli strati, che fiancheggiano la massa eruttiva, sono orizzontali sull'uno e sull'altro lato.

Digitized by Google

La fig. 10, per esempio, ricopia lo spaccato di Woodburn, ove un poderoso dicco di trapp attraversa tutta la *creta verde e bianca*, senza che l'orizzontalità degli strati

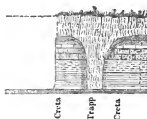



Fig. 10. — Spaccato di Woodburn

Fig. 11. — Spaccato di Cushendall

ne sia punto sturbata. Così in uno *spaccato ideale dell' Hartz* la formazione granitica è fiancheggiata dalle rocce argillose, perfettamente orizzontali.

310. Continuando la rassegna, ci si presentano 7 spaccati, ove gli strati mantengono la stessa inclinazione sull'uno e sull'altro lato della roccia emersoria. La fig. 11 ne presenta un esempio. Due filoni di trapp sorgono presso Cushondall; essi divergono fra loro, mentre gli strati di grès mantengono, e sui lati e nell'intervallo dei due dicchi, la stessa inclinazione.

Più meraviglioso ancora è il grosso filone di trapp, che, presso Springfield, attraversa obbliquamente le marne del *nuovo gres rosso* (fig. 13), e vi si biforca, senza che la stratificazione ne rimanga punto sturbata.

Fig. 12. — Spaccato della Claquette.

Fig. 13. — Spaccato di Springfield.

Non altrimenti si comportano il porfiro colle brecce e cogli schisti paleozoici della Claquette (fig. 12), e i graniti cogli schisti di Bussaug (fig. 14) e di Schliffels (fig. 15)

Fig. 14. — Graniti negli schisti di Bussang.

Fig. 15. — Graniti negli schisti di Schliffels.

Lo *Spaccato di Selkethal* dell'Hartz ci presenta il caso singolare di un filone di diorite, fiancheggiato da un lato da schisti argillosi, orizzontali, dall'altro da schisti,

Digitized by Google

radrizzati sotto un angolo di circa 60° (fig. 17). Finalmente lo *spaccato di Tamlaght* (fig. 16) ci esibisce quanto v' ha di più diametralmente opposto alla *teoria*

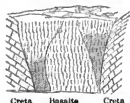



Fig. 16. — Spaccato di Tamlaght.

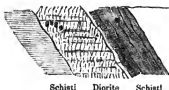



Fig. 17. — Spaccato di Selkethal.

de' crateri di sollevamento. Le calcaree della *creta* sono, dall'uno o dall'altro lato, inclinate verso il centro di una massa di basalte, sotto un angolo di circa 20° da un lato e di circa 60° dall'altro.

311. Se vi ha massa granitica potente, e nettamente isolata in mezzo alle rocce stratificate, è quella che sorge sulle sponde occidentali del Lago Maggiore, costituita principalmente dalle due montagne gemelle, il Monterone, sopra Baveno, e il Montorfano, l'uno di granito rosso, l'altro di granito bianco. È facile il seguire tutto l'andamento degli schisti cristallini, che dall'una o dall'altra parte vanno ad appoggiarsi ai graniti. Ora, se voi camminate sulla postale da Stresa a Baveno, fin dove, precisamente sopra Baveno, una marcatissima depressione (*culmina*) distingue dalla massa degli schisti erosi, quella del granito che si alza a dorso robusto, vedrete gli schisti ondeggiare quasi orizzontalmente, mantenendo però sempre una sensibile inclinazione verso il granito. Oltrepassato il Montorfano, per venire a Pallanza, trovereste gli stessi schisti cristallini inclinati dapprima contro il granito, assumere più tardi un'inclinazione verso lo stesso in guisa che pare evidente dalla antichissima formazione schistosa, contorta, o affetta da una grande spaccatura, essere usciti in più riprese i graniti.

312. La sezione geologica di Edimburgo (Knipe, *Geolog. Map. of Scotland*) è uno dei buoni esempî per dimostrare l'indipendenza del sollevamento dalle rocce eruttive. La sezione è condotta dal Castello all' Arthurs's Seat, due eminenze eruttive, divise da larga depressione erosiva, in cui giace Edimburgo. L'eminenza del Castello è formata di basalte fonolite; l'Arthurs's Seat dello stesso basalte, a cui si associano porfidi, e trapp porfirici. Entrambi sbucciano dalle arenarie, con schisti e calcari, della formazione carbonifera, i cui strati sono inclinati in guisa che, appoggiandosi al Castello, passerebbero invece a gettarsi sotto l' Arthur's Seat. Ma nemmeno al Castello si appoggiano, poichè quando gli sono vicini, si rilevano, o formano una anticlinale, per gettarsi poi sinclinalmente sotto alla emersione. Infine, stando alla *sezione*, gli strati sedimentari seguono un andamento regolare, formando alcune curve, di cui le emersioni occupano le sinclinali.

313. Si dirà forse: gli esempî citati presentano delle vene, dei filoni, dei dicchi anche colossali, non dei vulcani. L'osservazione sarebbe davvero senza senso; poichè quale altra cosa è il *dicco*, se non un vulcano, nell'atto precisamente che sale, attraverso la crosta terrestre, per espandersi al diffuori? Del resto stacchiamoci pure dagli esempî singolarmente presi: osserviamo i distretti vulcanici recenti e antichi; osserviamoli pure in grande. Sarà sempre la stessa cosa, come osservassimo un dicco, un filoncello, una venula qualunque. Di sollevamento nessun sintomo mai.

Digitized by Google

Percorrete, per esempio, i gruppi vulcanici della Romagna, o piuttosto quel grande distretto, irto di alcuni vasti rilievi vulcanici, aggruppati con mille altri minori, formanti una catena quasi di vasti rilievi lenticolari, che riempie una depressione, una specie di largo avvallamento che disgiunge gli Appennini dalla catena litorale. Tenetevi a preferenza sui limiti del terreno vulcanico, ove le poderose erosioni dei fiumi hanno svelato a nudo, per centinaja di chilometri, il contatto tra le rocce vulcaniche e i terreni sedimentari. Vi assicuro che uno studio in questo senso vi sarà fecondo di preziosi risultati; ma di questo singolarmente vi persuaderete, che i vulcani della Romagna non hanno nulla a che fare col sollevamento di nessuna catena.

Tutti quei terreni vulcanici non presentano infine che un vasto e pesante mantello, formato per lo più da strabocchevoli rigetti di detrito, sovrapposto alla gran massa dei terreni pliocenici, i quali, ancora orizzontali, o appena formanti dei morbidi piani inclinati, si vedono ovunque distendersi sotto le masse vulcaniche, le quali figurano quasi altrettanti mucchi colossali, sparsi sopra un piano uniforme, e che si toccano e si fondono alle rispettive basi.

Anche il signor Ponzi, il quale attribuisce pure alle serpentine ed alle trachiti il sollevamento dei rilievi dell'Appennino, della Catena litorale, e delle eminenze medie tra le due, giunto alla *catena vulcanica*, dichiara esplicitamente che il *rilevamento delle assise precedentemente disposte* (cioè degli strati pliocenici, e delle formazioni quaternarie) *non si osserva in questa catena, perchè i rilievi che la costituiscono altro non sono che accumulamenti conici di materie eruttive, attorno uno spiraglio, che le lanciò fuori.* (*Sopra i diversi periodi eruttivi*, Roma, 1864, pag. 20.)

314. Nel distretto vulcanico di Auckland (Nuova Zelanda), che pare abbia qualche somiglianza con quello dell'Eifel, di cui parleremo, le eruzioni non furono costanti in uno o in altro luogo; ma sortirono a riprese, saltuariamente, sopra un'area rettangolare di circa 200 miglia quadrate, seminandola di coni. Se ne contano almeno 63, alti da 300 a 600 piedi (il massimo però, cioè il Rangitoto ne ha 920). Sono coni crateri ci, di tufo, di ceneri, crateri laghi, o formanti sulla costa seni di mare. Lo studio di quei vulcani mostra che vi ebbero dapprima eruzioni insulari, o appena sottomarine, per cui si formarono dei coni di tufo, incappucciati poi da lave più recenti, e il tutto terminò con eruzioni di vere ceneri subaeree, costituenti coni conservatissimi. Tutto questo sistema riposa sopra i terreni terziarî, formanti un sistema di *strati orizzontali*, costituenti il sottosuolo del terreno vulcanico (Hochstetter, *New Zealand*, pag. 230). Il mare, battendo in breccia le coste, rivela per bene questo sistema. Ma il più singolare si è, che, dove gli strati sedimentari deviano dalla loro orizzontalità, in luogo di sollevarsi sul fianco de' coni, si inclinano verso il centro eruttivo.

Fig. 18 — Cono di ceneri franato presso Auckland.

Digitized by Google

Essi coni occupano dunque la concavità di una anticlinale, come lo mostra quello disegnato dal signor Heaphy, e riprodotto da Scrope (*Les volçans*, pag. 226), e da noi qui ricopiato (Fig. 18). In condizioni affatto simili si mostrano i coni di San-Jago.

315. L'isola San-Jago, del Capo Verde, come è descritta da Darwin (*Volcanic Islands*, pag. 1 e seg.), risulta anzitutto da una gran base di basalti, coperta da un esteso banco di calcare marino, bianco, estremamente fossilifero, che passa talora al grès e al conglomerato calcareo, della complessiva potenza di 20 piedi. I basalti, profondamente erosi, prima che il calcare, tutto di origine organica, li ricoprisse, sono certamente di origine sottomarina. Il tutto fu poi sollevato in guisa che il calcare si trova ora a 60 piedi sopra il livello del mare. E basalti e calcare dovettero, rompendosi, schiudere la via ai vulcani, che accumularono sul calcare stesso un tetto di basalte, della potenza enorme di 80 piedi. Il tutto è coronato da parrecchi coni vulcanici, certamente fattura subarea. Il Red Hill, uno di questi, è spento, ma riversò una corrente di lava scoriacea. Così si arriva al Fogo, unico cratero attivo nell'isola. Furono dunque i vulcani più recenti che sollevarono i basalti e il calcare? No certo, perchè il calcare si mostra sempre approssimativamente orizzontale; sicchè appare evidente, che i vulcani più recenti, trovata aperta una via attraverso gli antichi basalti e il calcare, quasi caldaja rigurgitante, versarono su quelli e su questo le loro enormi correnti, mantenendo accesi fino ad oggi i loro fuochi. In un solo luogo, ci dice Darwin, il calcare mostra una sensibilissima inclinazione, ed è dove esso calcare forma una decisa *sinclinale* sotto il Signal Post-Hill, cono vulcanico, che si adagia sulla sinclinale, quasi entro un bacino (Fig. 19).

Fig. 19. — Signal Post Hill a San Jago.
a. — Rocce vulcaniche antiche. — *b.* Strato calcareo. — *c.* Lava basaltica superiore.

316. Junghuhn, il celebre descrittore di Java, ci assicura che non un solo dei vulcani di quell'isola porta un argomento in favore della ipotesi dei crateri di sollevamento. Quei vulcani appajono come isole, in mezzo alla vasta formazione terziaria, che costituisce quasi i $^4/_5$ di Giava, e gode talora dello spessore veramente straordinario di 3000 piedi. Talvolta veramente essa formazione è sollevata verso il vulcano, in forma di scoscese pareti. Ma il vulcano si trova alla distanza di miglia, e il sollevamento non esiste che da un lato, nè mai avvenne il caso di scorgere gli strati terziarî appoggiarsi alla massa vulcanica (Naumann, *Lehrb.*, I, pag. 174).

317. « Le trachiti del Reno, dice Rath, hanno indubbiamente traforato gli strati devoniani, ed anche i terziarî, dove questi esistono: ma evidentemente ciò avvenne, senza che gli strati sedimentari subissero o sollevamento o disturbo di sorta. In ciò le trachiti convengono perfettamente coi basalti. » (*Geogn. Mittheil. ü. d. Eug. Berge.*)

I vulcani della Catalogna attestano anch'essi, come il sollevamento, che diede origine al rilievo di quelle regioni, è affatto indipendente dai vulcani stessi, che questi scoppiarono in epoca posteriore al sollevamento, e che il rilievo prodotto dal sollevamento non venne altrimenti modificato, che dal sovrapporsi dei coni vulcanici, e delle correnti di lava. Gli strati eocenici di Catalogna, appog-

10

giandosi, come dice Lyell, ad est sugli strati cristallini, vengono a sprofondarsi, con forte inclinazione nord, sotto il distretto vulcanico di Olot. L'inclinazione di quei terreni è dunque precisamente l'opposto da quella voluta dalla teorica del sollevamento, secondo la scuola di De Buch. I particolari descritti da Lyell mettono in piena evidenza il fatto. Nello *spaccato sopra il ponte di Cellent* noi vediamo gli strati calcarei e gresosi gettarsi sotto la corrente di lava, in guisa che ora andrebbero a ferire i centri d'eruzione presso Olot. La veduta del gruppo vulcanico di Olot, disegnata dallo stesso Lyell, mette in maggior evidenza tali rapporti. I vulcani occupano probabilmente, secondo me, una linea di frattura, un *gomito di inflessione* dei terreni eocenici, determinato dal sollevamento posteocenico.

318. Visitando la classica regione vulcanica dell'Eifel, io non potei a meno di domandare a me stesso, se i partigiani della teoria dei crateri di sollevamento e il suo inventore l'avessero visitata mai? Si direbbe in fatti che quella regione è creata per confutare quella teorica. Io non sono dell'avviso di Scrope quando addita i vulcani dell'Eifel come meno istruttivi di quelli dell'Alvernia, del Velay, del Vivarais (*Les volcans*, pag. 388). Nell'Eifel abbiamo un vantaggio cui non presentano che difficilmente ed eccezionalmente gli altri distretti vulcanici. Appunto perchè l'attività vulcanica v'ebbe breve durata; appunto perchè non vi si formarono quei poderosi ammassi di lave e di detrito vulcanico, che mascherano ordinariamente altrove le formazioni, da cui i vulcani eruppero: appunto perchè quelle fauci della terra stanno ancora spalancate a nudo; appunto perciò i vulcani dell'Eifel sono, sotto certi rapporti, i più interessanti del globo. L'origine dei vulcani, i loro rapporti coi terreni sedimentari e colle oscillazioni del globo, vanno studiati nell'Eifel. Dirò brevemente di alcuni fatti che v'ho osservato.

319. In genere i vulcani dell'Eifel si distendono sopra una vasta zona parallela alla direzione degli strati sedimentari. Essi non fecero che adagiarsi ad un sistema di fessure già determinate dal sollevamento. Si potrebbe paragonare la formazione devoniana in quel paese ad un crivello, dai cui fori si sfogarono a volta a volta i fuochi sotterranei. L'unica azione esercitata dai vulcani sopra le formazioni sedimentari, si può paragonare a quella di altrettante mine, il cui effetto si restringe ad un pezzo di suolo fatto saltare in aria, senza che sul perimetro della cavità il suolo mostri di esserne sensibilmente commosso. È questo un tratto eminentemente caratteristico dell'Eifel, dove i crateri sono immediatamente scavati, quasi altrettanti pozzi nelle formazioni sedimentari, le quali del resto sono affatto indipendenti, seguendo una data direzione, formando sinclinali ed anticlinali, come in qualunque regione più regolarmente stratificata, ma senza alcuna dipendenza dai vulcani. Anche nell'Eifel ebbero luogo strepitose eruzioni, enormi dejezioni di lave, di fanghi, di detriti: testimonî i dintorni del lago di Laach che, per l'abbondanza delle lave e dei tufi vulcanici, possono paragonarsi ai Campi Flegrei. Ma nella maggior parte dei casi le eruzioni furono limitatissime, e talora quasi nulle, per cui i crateri, appajono, come dissi, letteralmente scavati nei grès e negli schisti devoniani.

320. Ciò fece pensare a Lyell, che la formazione di quei crateri fosse dovuta a violenti esplosioni di vapori o di gas, le quali avessero agito letteralmente come le mine. Senza escludere affatto la possibilità di un tale accidente, credo però lo si possa rivocare in dubbio nella maggior parte dei casi. Parve a Lyell che la forma di pozzo, cioè di crateri a pareti verticali, dicesse veramente una mina. Io faccio invece osservare che la forma invariabile della cavità, prodotta dallo scoppio di una mina accesa sotto il suolo, è quella di un imbuto, cioè di un cono, il cui vertice è rap-

presentato dalla camera ove è chiusa la polvere. Un getto continuato di vapore, quale costituisce il fenomeno ordinario di una eruzione, è quello, che, espandendosi con uguale tensione su tutti i lati, quando abbia forza di rompere e rodere le pareti del tubo (i brani di rocce interclusi nelle lave di tutto il mondo, e costituenti talora la massima parte dei rigetti vulcanici dell'Eifel, attestano di fatto una tale potenza), deve lasciare una cavità cilindrica. Infine la forma dei crateri dell'Eifel è quella dei crateri del Vesuvio, del cratere del Tenghher (Java) a pareti verticali dell'altezza di 500 metri e del diametro di oltre 8 chilometri, del Mauua-Loa, del Kilauea e di cento vulcani, che rimasero inattivi dopo le grandi eruzioni. Io credo che, avendo luogo nell'Eifel poderose eruzioni, talvolta senza emissioni di lave (come si verifica di molte eruzioni attuali), e le eruzioni stesse mutando luogo sovente, lasciarono a nudo il primitivo cratere, scavato immediatamente nella roccia sedimentare, che non fu mascherata da successive eruzioni. Il detrito non si accumulò nei crateri, perchè spinto, come avviene sempre nella foga dell'eruzione, al di fuori del cratere stesso. Esso detrito sparso in tutta la regione dell'Eifel, misto, come dissi, di prodotti eruttivi e di brani di rocce devoniane in copia strabocchevole, accumulato d'ordinario sui lembi dei crateri, e anche spesso in fondo ad essi, provano la verità del modo di vedere esposto. Mi si perdoni questa digressione, e torniamo all'argomento che ci occupa.

Continuo la rassegna dei fatti, da me osservati, che mettono in piena luce l'indipendenza del sollevamento dell'Eifel dai vulcani.

821. A sud di Kirchweiler si incontrano due crateri. Gli strati devoniani si insinuano tra i due, inclinando verso il centro di uno di essi, e quindi in senso opposto all'altro. Si domanda quale dei due crateri è dovuto al sollevamento degli strati devoniani?

I tre *Maar* (depressioni crateriformi occupate da laghi, paludi o torbe, communi nell'Eifel) di Daun, sono tre crateri allineati a sud-est di Daun e presentano quanto di più caratteristico può offrire il sistema vulcanico dell'Eifel. Sono tre crateri-laghi di considerevole profondità, e d'aspetto tetro, piuttosto voragini che bacini lacustri. Il primo di essi, il Gemund-maar, si sprofonda 360 piedi, e l'altro il Weinfelder-maar, oltre 600. Il terzo chiamasi il Schalkenmeeren-maar. L'altezza dei punti culminanti sopra il pelo delle acque è di circa 200 piedi. Trattasi di quei veri pozzi dell'Eifel, i quali, prescidendo da un po' di scarpa formata dall'erosione, e costituente il lido, si presentano come veri abbissi a pareti verticali. Ma il tratto più caratteristico consiste nei materiali, di cui detti crateri sono costituiti. Ascendendo da Daun dal lato di sud, noi non ci accorgiamo nè di crateri, nè di eminenze vulcaniche. Ci troviamo bensì davanti delle colline, formate dal rilievo degli strati devoniani, rilevati sotto un angolo di oltre 45°. Essi strati si calpestano a nudo, e inclinano perfettamente verso i crateri, mantenendo la direzione e l'inclinazione che è del resto la generale per quel distretto devoniano. I crateri appajono d'un tratto come pozzi scavati nel devoniano. Anzi lo stesso gres devoniano si mostra a nudo nel primo cratere, e costituisce una gran parte del circo craterico. Sui labbri dei tre crateri, o meglio sulla sommità delle colline in cui sono scavati, è ammucchiato un terreno detritico, che, a prima giunta, si riterrebbe formato da semplice sfacelo delle rocce devoniane. Vi accorgereste invece ben presto che trattasi di un detrito vulcanico ove i frantumi delle rocce devoniane pigliano talora sopravvento. Le cave di pozzolana, aperte tra il primo e il secondo cratere, mettono a nudo lo spaccato di quel detrito, presentando una serie di strati,

di sabbie, di ceneri, lapilli vulcanici, mista a gran numero di frantumi di strati devoniani. Altre cave simili sono aperte sul lato nord, e sott' esse si mostrano di nuovo gli strati di gres devoniano colla solita inclinazione. Evidentemente qui i prodotti vulcanici non constano che di un detrito, misto di frantumi sedimentari e di materiali vulcanici, il quale, in quantità relativamente assai scarsa, non fece che rivestire la parte elevata di quelle colline. Trattasi al certo di brevi ma violenti eruzioni, attraverso a fessure, le quali, quasi trapanate dalla foga dei vapori, convertironsi in tubi cilindrici, senza che il suolo all'ingiro ne risentisse una appena apprezzabile commozione. Vere dejezioni di correnti di lave non ebbero luogo dai crateri, e tutto si limita, come in tante eruzioni attuali, a semplice detrito misto di materie vulcaniche e di frantumi di rocce sbranate. Dissi che lave non si riversarono dai crateri, perchè qui, come altrove nell' Eifel, è molto probabile che le lave trovassero scolo al piede dei rilievi, per un drenaggio attraverso spaccature laterali. Mi ricordo infatti di aver osservato in un piano, al piede dei colli craterici di Dann, una corrente di lava, perfettamente a nudo, che non potei esaminare, ma che certamente dipendeva da uno dei tre *Maar*. L' inclinazione degli strati verso i descritti centri eruttivi mostra evidentemente come quei vulcani non vantano nessuna parte nel rilievo di essi.

322. Se di ciò rimanesse alcun dubbio, questo svanisce alla vista del Meerfedler-Maar presso Manderscheid. È anch'esso un cratere, scavato nel devoniano, del diametro di 1 $^1/_2$ chilometri e della profondità di 180 metri, e che produsse un detrito misto di elementi vulcanici e di sedimentari. Ma la forza erosiva delle acque spazzò l'interno del cratere, sicchè il detrito non rimase che sul ciglione del circo, e sulle falde esterne. Nell' interno non restano che alcuni lembi di pretto detrito vulcanico, e il terriccio coltivato sul fondo, che rivela l'indole vulcanica. Tutto il circo del resto, a pareti quasi verticali, è scavato nelle nude rocce devoniane, regolarmente stratificate. Tenendo dietro all'andamento degli strati, si osserva in essi una serie di contorsioni, partendo da Manderscheid per venire a Meerfeld; ma quando siamo precisamente sul lembo occidentale del cratere, gli strati formano un'anticlinale, per cui inclinano precisamente verso il centro del cratere.

L' Ulmen-Maar è una copia dei crateri già descritti, ma alcune specialità lo rendono interessante. Il detrito è al solito una miscela di elementi vulcanici e di frantumi sedimentari; ma alcuni strati sono cementati da una leggerissima vetrificazione dei frammenti arenacei. Anche qui il detrito vulcanico è poverissimo, sicchè a qualche metro di profondità si scoprono gli strati devoniani. La direzione di questi è tale, che, prolungati, taglierebbero obliquamente il cratere da S. E. a N. O. Sul lato N. O. poi essi presentano una brusca ripiegatura anticlinale, ristretta a una decina di metri, la quale mostra evidentemente come il vulcano non ci entra per nulla coi ripiegamenti degli strati.

323. I vulcani dell'Eifel in fine sono in genere crateri senza cono. I crateri sono perfetti; ma i coni sono tutt'al più appena accennati. Così doveva avvenire dove le eruzioni furono brevi, non ripetute, scarse di prodotto; poichè il cono vulcanico, ossia il rilievo di una montagna vulcanica, si forma unicamente col successivo accumularsi dei materiali eruttati dal vulcano. È questo un tratto caratteristico che distingue i vulcani dell' Eifel da quelli della Francia centrale, dell'Italia, e in genere di tutte le regioni vulcaniche del globo. In queste regioni le eruzioni, ripetute per secoli e secoli, poterono erigere dei coni elevati come il Vesuvio, l'Etna, l'Ararat, il Chimborazo, i quali, coprendo sotto le loro moli immense le fessure da cui trassero

origine, e gli strati, in cui esse fessure furono aperte, poterono lasciare che la fantasia errasse in cerca di cause immaginarie, a cui attribuire la formazione di quei grandi rilievi. Noll' Eifel l'immaginazione è legata dalla nuda realtà del fatti. Si direbbe una regione destinata ad insegnare al geologo, qual sia il magistero primitivo, per cui i vulcani si mostrano originariamente alla superficie del globo, per cominciarvi quel lavoro diuturno, per cui si elevano, mediante la semplice accumulazione, montagne e catene, che rivaleggiano colle montagne e colle catene costituite dai fondi marini sollevati da quelle forze occulte, di cui gli stessi vulcani non sono che un sintomo e un effetto.

324. Negli esempî citati fin qui non abbiamo preso in considerazione che due soltanto delle forme presentate dalle masse eruttive. O erano dicchi, masse ristrette, e in rapporto immediato colle rocce incassanti; o erano coni ossia ammassi vulcanici subaerei, visibili alla superficie in tutta la loro estensione, e distesi apertamente sopra i terreni più antichi. Era quindi facile il verificare i rapporti tra le masse eruttive e i terreni sollevati, per vedere se a quelle si dovesse il sollevamento di questi. La risposta fu negativa in tutti i casi. Numerosi esempî ci hanno assicurato che le rocce eruttive, sotto le due forme predette, non hanno sollevato mai. Anzi i modi diversi con cui gli strati, diversamente raddrizzati, si presentano in rapporto e coi dicchi e coi crateri vulcanici, sono tali da persuaderci, che il sollevamento procedette l'eruzione, e che un effetto del sollevamento fu quello appunto di produrre quelle rotture, attraverso le quali, trovata aperta la via, scapparono i vulcani.

Rimane inesplorata una terza forma, quella dell'espandimento superficiale od interstratificato, di cui ci offrirono già bellissimi esempî le isole Ebridi, la Scozia, l'Isola di Arran, ecc. (V. Cap. IV.) Questa terza forma mediante i suoi rapporti co' terreni sedimentari, smentisce, a pari dei dicchi e dei coni vulcanici, la *teoria dei crateri di sollevamento.*

325. Quale è infatti l'origine di un espandimento? Esso non è in fine che una corrente di lava espansa sul fondo marino, dove viene a formare una massa tabulare, ossia uno strato. Questo strato, ricoperto poi da strati sedimentari, rimane interstratificato. Le Ebridi, la Scozia, il Vicentino ci offrono molti esempî di pile di strati, ove alternano a più riprese gli strati sedimentari e gli espandimenti di lava, non per altro distinti gli uni dagli altri che pei caratteri mineralogici diversi, e per la presenza o l'assenza dei fossili. Agli espandimenti lavici si aggiungono poi sovente, come ce lo mostrò l'isola di Arran, gli strati di detrito vulcanico, prodotto o da immediate dejezioni di ceneri e lapilli, o dalla demolizione di masse vulcaniche insulari. In ogni caso però si nota un deciso parallelismo tra gli strati di sedimento e gli espandimenti vulcanici. Se i vulcani sollevano, come potrebbe esistere un tale parallelismo? Supponiamo un fondo marino, sensibilmente piano, come lo sono tutti i fondi marini. Erompendo un vulcano, il fondo marino si solleva, e la lava si espande sopra un pendio, formando un piano inclinato, parallela agli strati sollevati. Fin qui tutto cammina per bene; ma gli strati sedimentari, che si formano poi, potranno deporsi paralleli agli strati precedenti e al primo espandimento di lava? No, certamente, ma si deporranno orizzontalmente, tagliando sotto un angolo maggiore o minore e gli strati sollevati, e l'espandimento di lava. Una seconda corrente che uscisse dal vulcano si espanderebbe parallela al secondo gruppo di strati ma facendo un angolo maggiore o minore coi primi strati e colla prima corrente. Ognun vede come vi saranno altrettante discordanze di strati e di espandimenti quanti sollevamenti si verificano. Il fatto non mostra tali discordanze; abbiamo già citato troppo numero di esempî in cui più e

più volte strati o espandimenti si alternano, conservando un parallelismo perfetto: dunque non avvennero sollevamenti, benchè si reiterassero le eruzioni.

326. Ma i fautori del sollevamento operato dalle masse eruttive, pigliano di mira quei cumoli colossali di rocce cristalline, le quali costituiscono gran parte del rilievo di grandi catene, o coprono vasti distretti. Trattandosi di queste grandi masse, in regioni spesse volte energicamente tormentate, non è così facile il coglierne i rapporti coi terreni di sedimento. Aggiungete che, chi attraversa una catena, o la esamini sopra alcune di quelle carte geologiche (e ve ne son troppe) dove è sbozzato il complesso e sacrificato il particolare, si immagina facilmente che i terreni sedimentari rivestano la massa eruttiva a guisa di mantello, per cui sembra veramente che, questa sorgendo, si sollevasse quelli attorno, attorno, come è voluto dalla teoria che noi combattiamo. Pigliamo le Alpi. Sulle alpine vette torreggiano le aguglie granitiche, e le masse colossali di dioriti, e di serpentini: sul versante italiano, come sull' opposto versante, degradano le vette minori, fino alle umili colline dell' Italia e della Svizzera, formate la maggior parte di strati sedimentari, inclinate in massa verso il piano e raddrizzate verso l'asse delle Alpi. Si vede assai bene come si potè immaginare che le Alpi rappresentassero una specie di spina dorsale, una catena centrale, costituita da masse eruttive, le quali, sollevandosi, avessero tratto seco, nel loro movimento ascensionale, gli strati sedimentari, facendosene mantello. Ma non lasciamoci guidare dalla immaginazióne. Sono già troppi gli spaccati generali delineati in questo senso. Se si ricorre all'analisi, se si studiano punto per punto i rapporti tra i terreni sedimentari e le masse eruttive, quegli spaccati si disfanno, e i particolari, delineati dalla pratica, si mostrano in perfetta opposizione coll'assiome dettato dalla teorica.

327. Quale è adunque la forma reale, e quali i rapporti di quelle masse eruttive così gigantesche? Non sono coni vulcanici al certo, non avendone alcuno dei caratteri. Non sono nemmeno dicchi giganteschi, non figurando punto come riempimenti di enormi spaccature. Non possono essere quindi che espandimenti, poichè altra forma di masse vulcaniche non ci è nota. L'espandimento d'altronde non ha limite di estensione, perchè anche le correnti attuali di lava occuparono talvolta più centinaja di chilometri quadrati; non ha limite di spessore, perchè un solo espandimento può essere il prodotto di centinaia di sgorghi sovrapposti. Ricordo sempre in proposito la celebre eruzione dello Skaptar-Jokul, le cui correnti percorsero l'una 80 chilometri, l'altra 65, allargandosi fin 12 chilometri, con uno spessore fin di 150 metri (*Parte prima*, § 823). Tali espandimenti assumeranno sul fondo marino la forma di strati, e venendo ricoperti da strati sedimentari, figureranno come masse interstratificate. Quelle masse eruttive potranno esse pure, come gli strati sedimentari, essere rotte, quindi sollevate a formare aeree montagne; ma il geologo, riunendo e ristaurando le masse scomposte, riuscirà facilmente a dimostrare come quei colossi, isolati in mezzo ai sedimenti che da tutte le parti li cingono, non sono che spicchi di un espandimento eruttivo, interstratificato agli stessi terreni sedimentari.

328. Non si dicono cose nuove: i geologi più moderni hanno già notato molti di tali espandimenti, e ne hanno definita la vera natura. Non così i geologi dominati dall' idea della forza meccanica, che dovevano esercitare la lave, nell'atto che si aprivano la via attraverso gli strati sovrapposti. Invece di riconoscere nelle masse di porfido, di diorite, di basalte, interstratificate alle formazioni sedimentari con perfetto parallelismo, altrettanti espandimenti sui fondi marini, sollevati in epoca più recente cogli stessi strati sedimentari; preferivano vedervi delle lave, le quali, mentre sollevavano gli strati, si injettavano tra strato e strato, quasi un foglio di carta che si insinui entro i fogli di un libro.

Leggendo gli autori, troverete che spesso si fa menzione di *strati*, di *giacimenti intrusivi*. Il senso che essi autori applicano all'epiteto *intrusivo*, parlando di masse eruttive, in forma di strato, o di espandimento, interstratificato nei terreni di sedimento, è affatto erroneo, salvo forse qualche caso eccezionalo; è una di qnelle creazioni fantastiche, da cui si lasciavano troppe volte trascinare i geologi, come quando, viste enormi formazioni stratificate appoggiarsi inclinato alle masse ernttive, sognarono cho le rocce eruttive avessero sollevati qnegli strati. Nei distretti trappici, porfirici, vulcanici in genere, avviene sovente di osservare la roccia ernttiva, che, in forma di dicco, attraversando, più o meno normalmente al piano degli strati, una formazione stratificata, fino ad una certa altezza, a un tratto si arresta, e, in lnogo di attraversare il restante degli strati, che sta dissopra, si ripiega da ambo i lati, e, allargata in dne braccia, a modo di croce, si fa parallela agli strati, insinuandosi così regolarmente tra gli strati snperiori e gli inferiori, in modo da parere essa medesima uno strato regolarissimo. L'atlante *Spaccati e Vedute* di La-Bêche presenta molti e svariati esempî di tale fenomeno. Gli autori immaginarono cho veramente la roccia eruttiva si fosse injettata normalmente agli stratl, fino ad un certo punto, poi avesse costretto gli strati stessi a separarsi, secondo il rispettivo piano di contatto, e così vi si fosse intrnsa parallelamente, come la liquida cera si insinuerebbe entro le pagine di un libro semichiuso. Io non trovai veramente a qnali prove si appoggiasse un concetto, che si volgarizzò puro cotanto, e vige ancora presso geologi di bellissima fama. Non è impossibile che il dislocamento degli strati si verifichi talvolta nel senso di una separazione, secondo il piano degli stessi strati. Non vedrei però come quella separazione possa aver luogo sopra nno spazio appena considerevole, nè come possa il caso vericarsi appena di frequente. Può chiunqne osservare, in qualunque regione montnosa, a mille a mille le crepature, più o meno normali al piano degli strati; ma potrei a mala pena citare qnalche esempio di qnalche cosa che possa assomigliarsi alle supposte separazioni dei piani degli strati. Il fenomono dei così detti *strati* o *espandimenti intrusivi* si spiega troppo semplicemente, ossorvando (ciò che si può dire avvenga di continuo sotto i nostri occhi) come lo lave sottomarine, traforati gli strati già formati, devono espandersi sul fondo del mare, e venir poscia ricoperte dai nuovi strati, che si vanno continnamente sovrapponendo. Noi non avremo dnnqne nessnn scrnpolo, quando leggeremo di strati e di giacimenti intrusivi, a tradnrli come *giacimenti interstratificati*, posteriori agli strati sedimentari sottoposti, e anteriori ai sovrapposti.

329. Veniamo ora a raccogliere alcuni esempî, dai quali risulta tutt'altro che ipotetico qnanto abbiamo detto sulla origine delle grandi masse eruttive, che furono ordinariamente pigliate come altrettanti centri od assi di sollevamento, mentre non sono che espandimenti, i quali vennero alla loro volta sollevati, forse miriadi di secoli dopo la loro espansiono snl fondo degli antichi mari.

In molti casi questa forma è evidentissima. Si hanno molti esempî di espandimenti lavici, che coprirono il fondo dei mari, ed emersero poi, sicchè appajono ancora alla snperficie, distesi a gnisa di tetto sopra la pila degli strati sedimentari. Vi ricorderete come alcuni vnlcani recenti presentino associato il tipo sottomarino, al tipo snbaereo; come per esempio, accanto del Picco di Teneriffa, si distenda una piattaforma di strati basaltici, e di conglomerati basaltici orizzontali; come l'Islanda presenti due regioni, costitnite totalmente da strati e conglomerati basaltici (*Parte prima*, § 882).

330. Ho già parlato altrove (*Parte prima*, § 823) della mostruosa massa basaltica cho copre nel Dekkan una superficie di 400,000 chilometri quadrati. Nulla, secondo me, può trovarsi, che meglio risponda all'ideale della forma che deve assumere una mas-

sa vulcanica, prodotta da ripetute dejezioni sottomarine. Quell' enorme pavimento si divide in parecchi piani, disposti talora l'uno sopra l'altro in forma di terrazzi. Nel suo complesso costituisce un grande altipiano, che si leva da 3000 a 4000 piedi di altezza, a pareti perpendicolari, inciso da profonde valli. Dal pelo del mare fino all' altezza di 4000 piedi si osserva un continuo alternare di letti basaltici, quasi orizzontali, di strati di amigdaloidi, e di sottili strati di tufi rossi. Quelle amigdaloidi rappresentano probabilmente (se trattasi di eruzioni a mediocri profondità) la superficie bollosa degli espandimenti, ove si annidarono poi dei minerali zeolitici, e i tufi il prodotto della erosione marina. In Malva Dangerfield conta 14 simili letti basaltici, di cui il più profondo vanta uno spessore di 200 piedi. Siccome le amigdaloidi si decompongono più facilmente del basalte, quella massa offre un' alternanza di erti gradini e di morbidi pendii (Bischof, *Lehrb.*, III, pag. 385).

331. Nel museo di Edimbourg vidi esposto il *Rilievo geologico dell' isola di Eigg* nel Invernesshire, eseguito dal signor A. Geikie, a cui dobbiamo già sì belle osservazioni sugli espandimenti lavici nella Scozia. È un'isola a foggia di piattaforma: la parte superiore consta quasi interamente di basalti, dioriti, rocce porfiriche; ma esse roccie eruttive non fecero che sgorgare attraverso alcune fessure, le quali figurano ora come altrettanti dicchi, ed espandersi, quasi liquida pece, sovra un piano sedimentare. La base dell'isola, cioè della piattaforma, è costituita infatti di una pila di strati orizzontali sovrapposti.

332. Le masse di lave interstratificate non sono in fine che altrettante di codeste piattaforme, le quali, in luogo di emergere rimasero sommerse, e quindi impigliate negli strati sedimentari. Si osservano nelle Ebridi, nella Scozia, del pari che nei Colli Berici, negli Euganei, e in tutte le regioni dioritiche, porfiriche, basaltiche. Nei dintorni di Castelnuovo (colli Euganei) si osserva, per esempio, la trachite che riposa sopra marne stratificate. Una alta rupe vi si mostra, che consta alla base di marne grigie, e chiude nel mezzo una massa di trachite, la quale si fende in colonne prismatiche. Superiormente alla trachite giace una marna bianca, simile allo schisto argilloso. Quello strato di trachite interstratificato agli stati terziari ha una potenza di 15 a 18 piedi. La marna che gli soggiace è egregiamente stratificata; ma alla distanza di circa 1 piede dallo strato eruttivo, perde il carattere della stratificazione e presenta anch'essa un clivaggio colonnare. La roccia si è fatta inoltre più dura, benchè non cristallina. Negli strati marnosi invece, che ricoprono la trachite, non si nota nessuna modificazione. Questi particolari, descrittici da Rath (*Geogn. Mitheil. über die Eugan.*) rivelano in tutta evidenza l'origine di quella trachite. È una corrente, meglio un espandimento di lava, che si distese sul fondo marino. Gli strati ricoperti sentirono l'azione del calore, divennero più duri, e, contraendosi, si divisero in prismi. Nessuna modificazione dovono naturalmonte presentare gli strati superiori, i quali non fecero che deporsi sulla lava già fredda e consolidata.

Una delle località, ove si possono sperare risultati brillanti dallo studio delle interstratificazioni, sono i dintorni di Santa Catterina presso Bormio, ove, nel fitto degli schisti cristallini, veggonsi alternare poderosi banchi di calcare saccaroide e strati regolarissimi di porfido.

333. Il fenomeno dell'interstratificazione è offerto assai communemente dai Grünstein, ossia dalle rocce pirosseniche. Ne offrono esempi a josa il Nassau, l'Havy, il Voigtland, l'Oberfranken, la Vestfalia, la Norvegia meridionale, il Devonshire, e principalmente le regioni paleozoiche ove, dice Naumann, i Grünstein rappresentano una parte importantissima. Non è raro di trovare quegli strati di grünstein alternanti coi grès (*Granwacke*) e cogli schisti argillosi, e talvolta con strati di tufo-pirossenico

Digitized by Google

(*Grünsteintuffe*), e di trovare in questi nltimi dei fossili, che accertano la contemporaneità delle rocce erottive e sedimentari. Quelle masse eruttive talora formano regolarissimi strati; talora strati irregolari; talora degli espandimenti lenticulari, ordinati sopra nna stessa linea. Talvolta lo strato sedimentare giace immediatamente sullo strato lavico; talvolta ne è diviso da nno strato di tufo. Varia è pnre la potenza di quelle masse, che, alcune volte esili e angnste, altre volte vantano nno spessore di centinaia, e nna estensione di migliaia di piedi; terminando d'ordinario in forma di cuneo, e qualche volta ramificandosi in tronchi diversi. Un letto di porfido in Riugerige, nella Norvegia, costituisce un'enorme piattaforma, della potenza di 1000 piedi (Naumann, *Lehrb.* II, pag. 680).

334. Ma l'interstratificazione non è sempre così evidente. L'enorme spessore di certe masse eruttive è già nna ragione per cui riesce arduo talora il coglierne i rapporti. Se poi le masse interstratificate furono, oltre che sollevate, rotte e contorte, ci vorrà un lavoro ben paziente e ben accurato, per rimettere quelle masse smembrate al loro posto, in guisa che figurino come espandimenti interstratificati. È in questi casi che possono verificarsi le più perdonabili illnsioni.

È un fatto che tante volte le rocce sedimentari si appoggiano alle eruttive, proprio come lor facessero mantello. Or bene voglio dimostrare, come l'espandimento interstratificato è quello appunto che deve dar luogo a tali illusioni, alle qnali credo unicamente appoggiata la *teoria dei crateri di sollevamento.* Suppongo, per esempio, un grosso espandimento, di granito dello spessore di 1000 piedi, spessoro che è assai lontano dall'nguagliare qnello delle correnti di lava dello Skaptar-Jokul e della piattaforma basaltica del Dekkan. Qnesta massa granitica sia poi ricoperta da strati sedimentari, costitnendo con loro un complesso di più migliaia di metri. Talo complesso venga poi sollevato, formando come d'ordinario, una serie di sinclinali e di anticlinali. Snpponiamo di più, ciò che si avvera quasi sempre, che gli strati sedimentari, sovrapposti alla massa granitica, siano sensibilmente più erodibili della massa granitica stessa. Quante volte poderosi dicchi di granito, di porfido, di serpentino torreggiano in forma di rnpi isolate! Avverrebbe quindi nel nostro caso che la massa granitica instratificata, poi sollevata e contorta, venisse a formare montagne o catene di montagne. Il più bello si è che esse montagne sorgerebbero appunto dalle formazioni sedimentari; e queste ne rivestirebbero l'uno e l'altro fianco, con inclinazione opposta, partendo sempre dal centro dol rilievo, e i loro spaccati presenterebbero realmente la forma imaginaria voluta dalla teoria dei crateri di sollevamento. Il segnente diagramma è delineato appunto per mettere in luce questa illusione, di cui credo siano stati vittime i geologi le mille e le mille volte. Egli rappresenta in fatti una massa,

Fig. 20. — Sezione immaginaria di nn espandimento granitico sollevato cogli strati sedimentari.

ossia un espandimento granitico, il quale sopporta una serie di strati sedimentari, formando, per sollevamento, una serie di sinclinali e di anticlinali.

Nè crediate essere un semplice supposto il mio, che l'accennata illusione abbia vinto più volte i geologi. Posso già citarvi degli esempi che ciò avvenne realmente, e avvenne nelle regioni più classiche, ove il fondatore della *teoria dei crateri di sollevamento* e i suoi fautori, credettero trovare i migliori argomenti in favore di essa.

335. Una delle località più classiche per una serie di formidabili eruzioni antichissime e moderne, accusate da potenti masse eruttive d'ogni natura, graniti, dioriti, sieniti, porfidi, melafiri ecc. è il Tirolo meridionale, campo, ove si esercitano da tanto tempo i più celebri geologi. Nessuno avrebbe dubitato, finchè la teoria da noi combattuta era in vigore, che l'elevazione di quelle colossali catene non fosse dovuta appunto alle ripetute e potenti eruzioni, che ebbero luogo per una serie indefinita di tempi. Pigliate ora la classica opera di Richthofen (*Geogn. Besch. der Umgeg. in Süd Tyrol.* Gotha, 1860); vi basterà di dare un' occhiata ai numerosi spaccati che la illustrano, per vedere come le rocce eruttive, i graniti, i porfidi e i melafiri, non presentano che queste due forme, il dicco e l'espandimento interstratificato. È maraviglioso il vedere come il granito, del pari che i porfidi, vi figurino letteralmente come strati, i quali accompagnano le formazioni sedimentari, così ben definite colà, in tutte le loro evoluzioni. Per questo lato gli studi di Richthofen si possono dire completati e riassunti da Suess nella sua recente memoria *Ueber di Aequivalenten des Rothliegenden* ecc. (Sitzungsb. der k. Ak. de Wissensch. I. Ahth. April, Heft-Jahrg. 1868.) La memoria del signor Suess è diretta a provare l'esistenza del terreno permiano nelle Alpi meridionali. Ma il risultato più brillante, a cui giunge, è quello di dimostrare come quelle due enormi formazioni cristalline, l'una di porfido, l'altra di granito, per cui sono così celebrate le montagne del Tirolo, non sono che due colossali espandimenti, due enormi interstrati, i quali, espansi dapprima, a lungo intervallo di tempo fra loro, sul fondo marino, e ricoperti da una potentissima serie di sedimenti, seguirono sollevandosi le mosse dei terreni sedimentari, per cui risulta evidente come quelle sconfinate masse eruttive, lungi dal pigliare alcuna parte come fattore del sollevamento, furono sollevate, dopo un intervallo di tempo, che ha per misura l'immensità delle epoche geologiche. Non posso dispensarmi del riprodurre qui innanzi il *profilo ideale del Tirolo meridionale*, che accompagna la Memoria di Suess.

336. Esso comprende una serie di terreni, che dall'epoca paleozoica, ascende fino ai terreni terziarî antichi. Sopra una formazione di gneiss e di micaschisti riposano dei calcari dell'epoca carbonifera e degli schisti argillosi. Questo si osserva realmente, in alcuni luoghi, per esempio nel Friuli. Ma in quel gruppo gigantesco, ove torreggia la montagna detta *Cima d'Asta*, la formazione carbonifera scompare, o al suo luogo troviamo un'enorme massa granitica (granito di Cima d'Asta), ricoperto da schisti micacei argillosi (Thon-Glimmer-Schieffer, Casanna-schieffer di Theobald). Il granito dunque rappresenta la formazione carbonifera. Mentre da una parte si deponevano strati sedimentari, sopra fondi marini, che le recenti scoperte del mio amico Torquato Taramelli mostrano popolati da ricchissima fauna; dall'altra, da ingenti bocche sottomarine, si espandevano poderosi i graniti, deserti di vita, ma nella forma affatto simili a strati. L'espandimento granitico fu in seguito coperto dagli schisti argilloso-micacei, strati sedimentari che stanno nelle Alpi a rappresentare l'epoca permiana, e sovr' essi, da nuove voragini aperte nelle profondità marine, si espansero i celebri porfidi del Tirolo, i quali, ad onta del loro ingente spessore, non lasciano di mostrare spesso evidente la forma di un espandimento interstratificato. Sopra i porfidi conti-

nuano i sedimenti, e si depongono le arenarie di Gröden, nei quali Richthofen non vedeva che tufi porfirici: e lo possono essere veramente, sopra tutto nel senso che siano stati formati dalla erosione marina, esercitata sulle stesse masse porfiriche. Le arenarie di Gröden appartengono ancora probabilmente al Permiano, como lo crede Richthofen; sono ad ogni modo inferiori alle *arenarie variegate* (trias inferiore), come lo ritiene Suess. Prima che quei fondi marini subissero alcun movimento, doveva ancora deporsi, per un tempo indefinitamente lungo, la mole sterminata delle dolomie triasiche, i cui strati concordano coi sedimenti antichi ad un tempo e cogli espandimenti eruttivi. Fu soltanto verso le epoche del Giura che cominciò, a quanto pare, quella serie di movimenti intestini, per cui emersero a poco a poco le Alpi, il cui rilievo non ebbe sorio svilnppo, che dopo i primi periodi terziari, come ho già ampiamente dimostrato, e come lo dimostra assai bene lo spaccato di Suess.

Fig. 21. — Profilo ideale del Tirolo meridionale:

1. Gneiss.
2. Micaschisto.
3. Calcare carbonifero. } Carbonifero.
4. Schisto argilloso (Thonschiefer).
5. Granito.
6. Schisto argilloso micaceo (Thonglimmerschiefer. — Permiano).
6'. Diorite.
7. Porfido.
8. Arenaria di Gröden (Grödenersandstein. — Permiano?).
9. Dolomie del trias.
10. Strati del Giura.
11. Creta.
12. Terreni terziari antichi.
13. Dicchi recenti.

337. Un'altra località forse ancora, sotto certi rapporti, più classica è il lago di Lugano, uno dei più celebri distretti porfirici. È là il campo, detto già *paradiso dei geologi*, dove si combatterono le prime battaglie tra i nettunisti ed i plutonisti; dove venne in seguito De-Buch a fondarvi, quasi sopra inconcusse fondamenta, le due grandi teorie, per sventura erronee, la teoria dei crateri di sollevamento e quella del metamorfismo della dolomia. Forse nessuna località poteva meglio prestarsi a ingenerare nell'osservatore una perfetta illusione di ciò, che la fantasia può dipingere, come un distretto, che deve la sua forma a ciò che si intese per cratere di sollevamento. In fatti quel lago, che figura quasi un sistema di spaccature radianti da un centro; quei monti

che lo cingono all'ingiro, con verticali pareti, richiamando i ruderi di un gigantesco cratere; quella massa ingente di porfidi, che si mostrano sopra tutto nelle regioni centrali, sorgenti dal lago; tutto in fine suggerisce quell'idea, accolta come un fatto dalla generalità dei geologi, che un'immane eruzione porfirica, sospingendo le formazioni sedimentari, abbia levato le montagne all'ingiro, producendo quelle spaccature, ove vediamo attualmente adunarsi le acque. Tutto ciò è letteralmente falso. I miei amici Emilio Spreafico e Gaetano Negri stanno, come accennai, raccogliendo, in un lavoro che presto vedrà la luce, il risultato di un lungo ed appassionato studio di quella classica località, ove le sviste dei predecessori lasciarono, dopo tanto che vi si è raccolto, il meglio da mietere. Debbo alla loro gentilezza lo spaccato inserito qui contro, non teorico, ma letteralmente pratico, il quale non mancherà di eccitare il più vivo interesse nei geologi, mostrando la veranatura di quel bacino porfirico, che fu negli studî precedenti così travisato. Non lascerò di avvertire come questo spaccato non costituisce che la minima parte, benchè forse la più istruttiva, di una memoria, la quale ne presenterà altri, e sarà inoltre corredata da una carta geologica, dalla quale risulteranno in tutta la loro ampiezza i fatti, che nel presente profilo sono semplicemente riassunti.

338. I dintorni di Lugano presentano completa le serie dei terreni lombardi, dalle argille plioceniche della Folla d'Induno, fino agli schisti cristallini, rappresentanti i terreni paleozoici, enormemente sviluppati, principalmente nelle regioni interne ed occidentali di quel distretto. Lo spaccato però non comincia che dal *lias*, che io ho chiamato *formazione di Saltrio*, perchè alle cave di Saltrio si presenta così ben caratterizzato e ricco di una fauna brillantissima. Il *lias* riposa sull'*infralias* e questo sul *trias* superiore e medio, rappresentato specialmente da quella poderosa massa di dolomie, sviluppatissime in tutta la Lombardia, nei distretti eruttivi del pari che nei distretti puramente sedimentari, in cui De-Buch volle pur vedere il prodotto di un metamorfismo, operato dai porfidi, la cui eruzione precedette pure di tanto tempo il deposito delle dolomie. Le dolomie riposano su quegli strati di schisti o arenarie marnose e di puddinghe quarzose, rosse, con ciottoli di porfido, che passavano sotto i nomi di *servino* e di *verrucano*, mentre ora sono da ritenersi indubbiamente come rappresentanti del trias inferiore, cioè dell'*arenaria variegata*. L'arenaria variegata riposa distintamente, regolarissimamente, sui porfidi interstratificati, formanti un enorme espandimento, associati talora a tufi e ceneri porfiriche, ai quali anzi si riducono talora gli strati dell'arenaria variegata. I porfidi finalmente giacciono, a stratificazione perfettamente concordante, sopra l'immenso gruppo degli schisti cristallini, argillosi, e micacei. Lascio affatto tutti gl'interessanti particolari, che troveranno luogo nella promessa memoria, attenendomi soltanto a ciò che vi ha di più generale, e di veramente cardinale. E ciò è appunto il fatto, che i porfidi di Lugano, in luogo di avere agito come forza sollevante le formazioni sedimentari, non fecero che espandersi sopra un fondo marino, prima che cominciassero a deporsi i terreni triasici; nè subirono alcuno deciso movimento probabilmente fin verso i primordî dell'epoca terziaria. Quando cominciò ad operarsi il sollevamento di quella regione, e diciamo di tutta la regione delle Alpi, allora anche i porfidi acconsentirono all'universale movimento, accompagnando gli strati nella loro ascesa, e seguendone le contorsioni ed i salti, come indica lo spaccato. Anche qui, come nel Tirolo meridionale, i porfidi e i conglomerati porfirici stanno a rappresentare assai probabilmente il permiano.

Digitized by Google

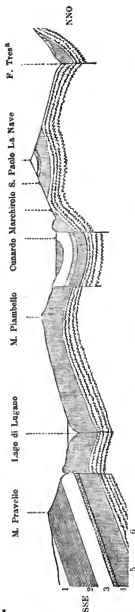



Fig. 22. — Spaccato del bacino porfirico del lago di Lugano tra Arzo e le Fornacette.
1. Lias (Marmi d'Arzo)
2. Infralias (Dolomia, calcari marnosi, schisti)
3. Trias sup (Dolomia a *Meg. Gümbelii*)
4. Arenaria variegata (Buntersandstein)
5. Porfido (Permiano)
6. Scisti micacei argillosi

339. Se io volessi moltiplicare gli esempî, non avrei che a prendere la *Siluria* del Murchison, alla quale sono consegnati i recentissimi studî sui terreni eruttivi antichi dell'Inghilterra e della Scozia. Voi potreste osservarvi una serie di spaccati i più particolareggiati, ove le rocce eruttive delle antiche epoche paleozoiche, quando il vulcanismo imperversava su quegli antichissimi fondi marini, non offrono che le due forme del dicco o dell'interstrato. Le colline siluriane di Gelli non presentano che una regolarissima serie, ove cogli schisti a graptoliti e trilobiti alternano le euriti, i porfidi, e le rocce feldspatiche probabilmente di detrito vulcanico. Nello spaccato del monte Snowdon si osserva puro regolarissima la serie siluriana, sollevata, contorta, spezzata. Numerosi dicchi eruttivi la traforano, senza punto interessare nè la stratificazione, nè le curve, e nemmeno i salti. Lo spaccato del monte Cader Idris offre pure regolarissima la serie siluriana, ove gli strati figurano quasi altrettanti piani inclinati, sovrapposti, costituenti otto gruppi, alternanti con altrettante masse stratiformi di porfido. Il bacino carbonifero di Korn-brook presenta una regolarissima sinclinale, ove un gran dicco di basalto si apre la via nel mezzo, poi si biforca, e così affiora, formando due espandimenti, senza che la sinclinale sia punto sturbata. Nè meno istruttivo è il bacino siluriano della Boemia, descritto da Barrande. Gli strati della *zona primordiale* (Cambriano) alternano, almeno tre volte, coi porfidi regolarmente interstratificati: segue in perfetta concordanza il siluriano inferiore a cui è sovrapposta una regolarissima zona di porfidi, sulla quale, sempre in concordanza perfetta, giacciono gli strati del siluriano superiore; e tutto questo sistema è insieme sollevato o contorto.

Io confido che spariranno a poco a poco dalle opere gli spaccati immaginarî, delineati secondo la teorica dei crateri di sollevamento, e che, non alcune soltanto, ma tutte le masse eruttive, o grandi o piccole, in luogo di offrirsi come autrici del sollevamento, si presenteranno passive, come quelle che l'hanno subìto, e si ridurranno alle due uniche forme del dicco e dell'espandimento interstratificato.

Digitized by Google

340. Nè le lontane regioni vorranno smentire le domestiche. Mi si permetta infatti di citare un ultimo esempio, quello della remotissima Nuova Zelanda, la quale riproduce esattamente i fenomeni da noi osservati nelle Alpi.

Lo spaccato che il signor Haast (Hochstetter, *New Zealand*, pag. 487) ci dà delle Alpi meridionali di quelle isole, dallo stretto di Cook alla penisola di Banks, ci mostra come tutte le roccie cristalline sono perfettamente interstratificate a' terreni sedimentari, anteriori al carbonifero, formando sistema con essi. Il carbonifero è in perfetta discordanza, e nessun terreno più recente si scopre più oltre, fino ai lembi d'epoca terziaria e quaternaria.

I terreni vulcanici recenti hanno traforato tutta la serie antica, come si vede meglio da un altro spaccato del dottor Hector, pubblicato dallo stesso Hochstetter, e si espansero sulle antiche formazioni, elevando coni fin di 5000 piedi, altezza del cono trachitico terziario del M. Somers, e a 3500, come il monte di basalte e di tufo quaternarî della penisola di Banks. Ecco la serie ascendente dei terreni, in serie regolare.

1.° Granito, gneiss granitico e gneiss.
2.° Schisti cristallini, micaschisto, cloritoschisti.
3.° Quarziti, schisti argillosi e filladi.
4.° }
5.° } Ardesie, arenarie, dioriti e diabasi.
6.° }
7.° Porfidi e melafiri della formazione carbonifera.
8.° Calcari e gres carboniferi.
9.° Trachiti e tufi terziarî.
10.° Lignite posterziaria.
11.° Alluvioni.
12.° Doleriti e basalti.

Digitized by Google

IX. Teoria delle oscillazioni della crosta terrestre.

I sollevamenti avvennero, 341. — *Loro forme,* 342. — *Quale ne fu la causa?* 343. — *Teorica del calore iniziale e del continuo raffreddamento*, 344, 345. — *Perdite non calcolate,* 346. — *Dovute alle sorgenti,* 347. — *Dovute ai vulcani,* 348. — *Le contrazioni per raffreddamento non spiegano nè il modo nè il valore delle oscillazioni,* 349. — *È falso che il vulcanismo sia in diminuzione,* 350, 351. — *La geologia accusa una attività che si riproduce,* 352. — *I vulcani come valvole di sicurezza,* 353. — *L'attività chimica come fonte perenne di calore*, 354, 355. — *Paragone colla forza vitale,* 356. — *Circolo dell'attività calorifica,* 357. — *La teoria della riproduzione non è illogica,* 358. — *Si precisa il concetto di questa teorica*, 359. — *Si conciliano alcune idee contraddittorie di Scrope*, 360, 361. — *Riproduzione e equilibrî del calore interno, come causa delle oscillazioni terrestri secondo Scrope,* 362. — *Modo del sollevamento,* 363. — *Vani vulcanici e punti d'appoggio,* 364. — *Il sollevamento attribuito al metamorfismo da Bischof,* 365-367. — *Valore di questa causa,* 368. — *Le teoriche di Bischof e di Scrope si conciliano e si completano,* 369, 370. — *Gli sprofondamenti nella teorica di Bischof,* 371. — *Idee conformi di Daubrée,* 372. — *Idee conformi di Ponzi,* 373. — *Dedotte dal sistema de' vulcani d'Italia,* 374, 375. — *Difetto nella teoria meccanica di Scrope*, 376. — *Il supposto di un ripiegamento è inutile*, 377. — *È contrario all'esperienza,* 378. — *I rilievi del globo non presentano la rete poligonale*, *voluta dall'ipotesi della contrazione*, 379. — *Accusano un sistema di fratture rette, parallele*, 380. — *Le rotture della crosta terrestre paragonate alle crepature di un ghiacciajo*, 381, 382. — *Come si determinano le rotture e gli spostamenti,* 383, 384. — *Formazione delle chiuse,* 385. — *Le curvature sono l'effetto delle spinte laterali,* 386. — *L'Europa come esempio,* 387. — *Gli Appalachian,* 388. — *Giura, Cordilliere, Himalaya,* 389. — *Le ripiegature stratigrafiche in genere,* 390. — *Altri effetti delle spinte laterali,* 391. — *Come rimangono le fessure,* 392. — *Santa Catterina del Sasso,* 393. — *Tutte le manifestazioni vulcaniche rispondono alla teoria meccanica esposta,* 394. — *Lentezza delle oscillazioni terrestri,* 395. — *Piccolezza dei rilievi terrestri, a riprova della teoria meccanica esposta,* 396, 397. — *I rilievi terrestri considerati nella loro origine e ridotti al loro vero valore,* 398, 399. — *Riassunto della teorica delle oscillazioni terrestri,* 400. — *Ritorno ai fatti primarî che la dimostrano,* 401. — *Pa-*

Digitized by Google

341. Da quanto abbiamo esposto nel capitolo precedente, risulta che il sollevamento è indipendente dalla eruzione, anzi necessariamente la precede. Le lave escono, perchè trovano aperta l'uscita. Si espandono quindi alla superficie, subacrea o sottomarina, o ergendo coni, o distendendo espandimenti stratiformi. Coll'esaurirsi di quella forza, che fa ribollire e debordare le lave dall'interna caldaja, le ultime porzioni si arrestano stagnanti entro la crepatura, e, consolidandosi, si trasformano in dicchi. La loro azione meccanica è violenta, come può essere quella di una mina; ma è del pari limitata. Anzi nelle profondità sottomarine può essere in gran parte, e quasi totalmente, olisa dalla pressione. Così avvenne in tutti i tempi; e in ciò consentono i vulcani attuali come le più antiche masse granitiche.

D'altra parte la stratigrafia è tutta nell'affermare questo fatto, che i sollevamenti avvennero ed avvengono; che la crosta terrestre è continuo giuoco di un forza occulta, che oggi solleva, domani deprime. Richiamate la storia di tutti i gruppi sedimentari, ed essi vi dicono, come la superficie terrestre fu in preda ad oscillazioni continue, ad un continuo alto e basso. Le mille volte, sulle aree dei nostri continenti, si alternarono gli abissi marini, le limpide acque, i bassi fondi, le limacciose lagune, le pianure maremmane, le isole, i continenti. La stessa stratigrafia ci rivela due modi, o direbbesi due forme di sollevamento, ossia delle oscillazioni delle masse formanti la crosta terrestre.

342. La prima forma è quella di un semplice spostamento, cioè di una rottura, accompagnata d'ordinario da un *salto*. I rapporti tra le due parti di una massa, supponiamo, di strati orizzontali; che venga divisa da una spezzatura, sono varî, come varî possono essere i rapporti tra le due metà di una lastra di marmo, che sia spezzata da una forza diversamente diretta. Ora gli strati rimangono orizzontali sui due lati della fessura; ora rimangono orizzontali da una parte e inclinati dall'altra, con inclinazione o verso o contro la fessura stessa; ora l'inclinazione si verifica da una parte e dall'altra, o nello stesso senso od in senso diverso rispettivamente alle due parti fra loro. Notasi in genere che l'inclinazione verso la fessura, cioè la sinclinale, è l'ordinaria. Questa prima forma di sollevamento è quella che dà luogo alla escita delle rocce eruttive.

La seconda forma consiste in un semplice ripiegamento, per cui, alterandosi il livello primitivo degli strati orizzontali, questi debbono o sollevarsi od abbassarsi; meglio far l'una e l'altra cosa ad un tempo, formando una serie di sinclinali o di anticlinali. In questo secondo caso le rocce eruttive non escono; perchè il semplice ripiegamento non ha loro dischiusa una via.

Ordinariamente però le masse spostate sono anche più o meno ripiegate e contorte, e accusano probabilmente due ordini di forze diverse che sollecitano le stesse masse.

343. Quale è ora la ragione di tutti questi fenomeni? Qual'è la causa per cui la corteccia del globo oscilla ed oscillò continuamente, sicchè presenta tanti milioni di spezzature, di salti, di contorcimenti?

Io ho già trattato in abbozzo la questione, quando la dinamica terrestre mi imponeva di cercar le ragioni delle attuali oscillazioni a cui sono, per esempio, in preda la Groenlandia e le regioni settentrionali d'Europa (*Parte prima*, §§ 971-978). Presentai allora la teorica di Scrope, che nella dinamica terrestre trovava già buoni argomenti per reggersi, almeno ne'suoi principî fondamentali. Ora che la stratigrafia ci ha cotanto moltiplicato gli esempi delle oscillazioni del globo; ora che abbiamo veduto alternarsi le mille volte sulle stesse aree le terre ed i mari; ora che abbiamo ben definiti i rapporti tra le rocce stratificate, spezzate, smosse, e le rocce eruttive che riempiono le spezzature e ne sono la conseguenza; abbiamo in mano il centuplo degli argomenti, per costrurre alla teoria di Scrope le più valide fondamenta. Noi l'andremo dunque ora esponendo, sviluppando, e anche, se farà d'uopo, modificando.

344. Cominciamo a fissar bene il punto che serve come di perno a quella teorica. Parlo della riproduzione perenne del calorico interno, a cui abbiamo già accennato (*Parte prima*, § 971). So bene il senso di stupore, e forse di disgusto, che deve produrre un tale enunciato, così contrario alle teoriche di Leibnitz, Newton, Laplace, e alle idee così universalmente ricevute dagli astronomi, dai fisici, dai geologi e dagli studiosi in genere, circa l'origine, la natura e l'azione del calore centrale. Ma vi ricordi che non trattasi di veri dimostrati, ma di semplici ipotesi; e nessuna ipotesi può ritenersi sicura dei progressi della scienza.

Fu primo Descartes, nel 1644, che considerò la terra come un astro raffreddato alla superficie, conservando un *fuoco centrale*, causa di tutti i fenomeni interni. Newton e Leibnitz divisero le idee di Descartes (Daubrée, *Études sur le métamorphisme*, pag. 6). Laplace offrì le stesse idee completate in un sistema, che si appoggia singolarmente alle analogie tra la terra e gli altri corpi celesti, considerati nelle loro diverse forme, ossia, secondo il sistema di Laplace, nelle loro diverse fasi. In questo sistema il primo stato di un astro è quello di una nebulosa, nel massimo grado di rarefazione, e questo stato è dovuto alla potenza di un *calore iniziale* supposto. Mano mano che il calore iniziale si irradia negli spazî, la nebulosa si condensa, e, passando successivamente dallo stato gazoso al liquido, e dal liquido al solido, diventa quello che è diventata la terra, e diventarono tanti astri simili a lei. Nè la cosa è finita; poichè l'irradiazione continua, e verrà giorno in cui non vi sarà più liquido sulla terra, e la stessa atmosfera si sarà solidificata. Su questa via di perfetto consolidamento già i minori astri hanno preceduta la terra. La luna, per esempio, che nel sistema di Laplace non sarebbe anch'essa che uno spicchio di quell'anello solare, dalla cui rottura furono prodotti la terra e gli altri pianeti, non è più che il cadavere di un astro, un astro gelato. E così continuerà il processo finchè tutti gli astri abbiano raggiunta la temperatura degli spazî celesti, che vuolsi di centinaia di gradi inferiore allo zero, e non pare vorrà di troppo elevarsi, quando tutti gli astri vi abbiano riversato il di più del loro calorico. Anzi è già impiantata a quest'ora una grossa partita di *dare* e di *avere*, e nei calcoli di Furrièr e di Bischof è già segnato il giorno in cui la terra esalerà l'ultimo alito.

345. Io non mi arrischio a valutare l'importanza di certe analogie astronomiche. Non credo, per esempio, sufficientemente dimostrato che la luna manchi veramente di atmosfera. Non si capirebbe come un astro, che si vuole letteralmente coperto di

vulcani, anzi di coni e crateri vulcanici, possa essere tale senza che le sostanze aeriformi vi abbiano proporzionale sviluppo. E se sono vulcani spenti, e spenti avanti l'epoca (e dev'essere stata enormemente lunga) in cui si compì il processo della solidificazione dell'atmosfera lunare e quello del suo interno raffreddamento, come mai quei crateri, veduti col telescopio a centinaja di chilometri di distanza, ci appajono così decisi, così conservati, così freschi, come i crateri dei Campi Flegrei, e forse meglio ancora? Anzi vollero gli astronomi che si notassero dei cambiamenti nei crateri lunari, forse dovuti ad eruzioni ancora vigenti, certamente poi ad agenti, la cui esistenza non saprebbesi come spiegare sulla superficie e nell'interno di un astro, ove non esistono nè aria, nè acqua, od equivalenti liquidi e gazosi. Si cita in proposito il fatto del cratere detto *Linneo* che, si sarebbe mutato assai sensibilmente come risulta dal confronto delle osservazioni più degne di fede, fatte in epoche diverse. La mancanza di rifrazione che si verifica nel fenomeno dell'occultazione delle stelle non è indizio certo dell'assenza di un'atmosfera propria del nostro satellite. La poca altezza che si potrebbe supporre allo strato atmosferico, e fors'anche l'estrema rarefazione di un'atmosfera, che circonda un corpo, la cui massa, e quindi la forza di attrazione, è 80 volte minore di quella della terra, possono per avventura, non impedire affatto, ma rendere difficilmente apprezzabili gli effetti della rifrazione.

346. Ma tenendoci strettamente nel nostro campo, vediamo se la geologia è sufficentemente matura per prestarci argomenti pro o contro la teorica detta di Laplace. Mi limito a quanto essa ha di essenziale, a quanto cioè è generalmente ammesso, ed è che il calore interno della terra è quanto resta di un calore iniziale, il quale si andò irradiando, quindi perdendo nel corso dei tempi. In questa teorica la terra ha subìto un progressivo raffreddamento e continua a subirlo.

Comincio a notare come, nei diversi calcoli diretti a misurare il progressivo raffreddamento del globo, partendo dall'ipotesi di un calore iniziale coll'applicazione delle formule di Fourier, non s'introdusse altro elemento di perdita fuor di quello della irradiazione negli spazî. Non si calcolarono gli effetti della continua evaporazione alla superficie, nè le perdite del calore centrale immediamente dall'interno per via delle sorgenti termali, delle emanazioni gazose, dei vulcani.

347. Secondo i calcoli di E. de Beaumont, appoggiati alle formole di Poisson, l'irradiazione immediata del calore interno all'esterno corrisponde, per Parigi, annualmente alla fusione di uno strato di ghiaccio dello spessore di $0^m,0065$. Ora lo stesso E. de Beaumont calcola che il calore interno, emesso per via delle 45 sorgenti termali conosciute in Francia, fonderebbe annualmente uno strato di ghiaccio, esteso come la Francia, e dello spessore di $0,^m$ 00000324, per cui alla quantità del calore interno perduto per efflusso diretto, sarebbero da aggiungersi altri 5 millesimi di perdita cagionata dalle sorgenti termali (Lecoq, *Eaux minérales*, pag. 27). Quantità al certo non indifferente, di cui non si tien conto dai calcolatori, ma che io credo ben lungi dal rappresentare quella che, in proporzione, è dovuta a tutte le sorgenti termali del globo. Infatti la Francia, ove un'esatta statistica non novera che 45 sorgenti termali, ove non si contano che i vulcani spenti della Francia centrale, è tutt'altro che ricca di sorgenti termali, in confronto dell'Italia, ove si vantano l'Etna, il Vesuvio, i Campi Flegrei, i grandi gruppi vulcanici dell'Italia centrale; ove s fiano le stufe d'Ischia e di Pozzuoli, i fumacchi dei lagoni toscani, ove ferve il l licame di Viterbo, ove si riversano torrenti di caldissime acque fino ai piedi de Alpi, come ad Acqui, e fino nel cuore delle Alpi, come a Bormio ed al Masino. M l'Italia è ancora un nulla, in confronto dell'Islanda, ove erompono i 40 geyser, bol

lenti fino alla temperatura di 127° C.; e l'Islanda è vinta ancora d'assai dalla Nuova Zelanda, il vero regno del geyserismo, ove le sorgenti termali, i geyser, le stufe si aggruppano intorno a laghi d'acqua termale. Lascio di richiamare l'America meridionale, Giava e lo smisurato arcipelago vulcanico dell'Oceano Indiano, e tutte quelle regioni vulcaniche, e quindi idrotermali, a petto delle quali, la Francia non solo, ma l'Europa, non offrono che lembi di terre pacifiche, e ruscelli d'acque pure e fresche. I 5 millesimi da aggiungersi alla cifra del calore centrale irradiato, in base alle terme francesi, potrebbero facilmente diventare e 10 e 15, se l'assoluto difetto delle statistiche, e fin talora delle più volgari notizie, non ci obbligassero a presumere, in luogo di calcolare.

348. Ma la perdita che il calore centrale subisce, ed ha subíto nel corso delle epoche geologiche per le sorgenti, non rappresenta che una frazione di quella che deve attribuirsi ai vulcani, i quali ardono ed arsero in tutti i tempi, e in tutte le regioni del globo.

Il calore perduto si può calcolare in base alla quantità del prodotto di sostanze solide, ossia di minerali e rocce, la cui formazione è da attribuirsi sia alle sorgenti termali, sia ai vulcani, e in base alla temperatura esatta per la produzione di dette sostanze.

Ora è certo che non v'ha confronto tra le masse eruttate dai vulcani, in presente e in passato, e i depositi che possono attribuirsi alle sorgenti termo-minerali. Il cono d'un geyser sarà sempre una cosa microscopica in confronto del cono del Vesuvio o dell'Etna. Di più la temperatura delle sorgenti termali, e quindi delle sostanze che sono da loro portate alla superficie della terra, non raggiunge che ben di rado una cifra che pareggi il decimo del calore vulcanico. Un calcolo che si faccia anche sulle basi più larghe darà sempre per risultato che la perdita di calore interno dovuta ai vulcani è le cento e le mille volte maggiore di quella dovuta alle sorgenti termali. Per conseguenza la perdita del calore centrale, dovuta, secondo i calcoli, alla semplice irradiazione, dovrà essere facilmente raddoppiata, in considerazione delle sorgenti termali e dei vulcani.

Per uscire alquanto del vago e dall'indeterminato, proviamoci a valutare anche soltanto il calore che può perdere l'interno del globo per una sola eruzione. Nella celebre conflagrazione del 1783 lo Skaptar Jokul d'Islanda emise due correnti di lava; l'una lunga 80 chilometri, larga fin 24; l'altra lunga 65, larga 12. Lo spessore trovossi di 150 metri. Prendendo $^1/_3$ dello spessore come termine medio, avremo, come prodotto di una eruzione di un solo vulcano quasi a'giorni nostri, una massa di lava dell'estensione di 2,610 chilometri quadrati e dello spessore di 50 metri. Supponiamo a questa massa nell'atto che erompe dal cratere un minimo di temperatura di 700° C. e un massimo di 1,200°. Nessuno, credo, riterrà esagerato un minimo di 700° per una lava incandescente; quanto al massimo di 1,200° esso è il minimo richiesto della temperatura dei forni per la fusione del vetro. Del resto i termini introdotti in questo calcolo sono presi dal mio amico R. Ferrini, professore di fisica tecnologica all'Istituto tecnico di Milano, con quella larghezza che è consentita dalla natura stessa del calcolo, i cui risultati avranno sempre un valore più che sufficente per esser presi come termine di confronto nella tesi generica di cui ci occupiamo. Il peso specifico della lava sia in media 2, 8, per cui 1 metro cubo di lava peserà 2,800 chilogrammi. Calcolando in base alle esperienze sulle calorie emesse dai silicati più communi, vetri, feldspati, pirosseni, crede il signor Ferrini di tenersi certo al disotto del vero, valutando a 140 le calorie emesse da un chilogrammo di lava, per discendere

da 700° alla temperatura ordinaria, supponiamo in media di 11°. Operando su tali basi si ha per risultato finale, che il calore emesso dalle lave dello Skaptar Jokul in quella sola eruzione basterebbe a fondere uno strato di ghiaccio, esteso su tutto il globo e dello spessore di 0m, 00135. Quando poi si pigliasse il massimo di temperatura di 1,200°, lo strato fuso presenterebbe lo spessore di 0m, 0023. Dunque una sola eruzione basta ad aumentare di $^1/_5$ a $^1/_3$ la perdita del calore interno dovuto alla irradiazione annuale, che abbiam visto calcolata come equivalente alla fusione di uno strato di ghiaccio dello spessore di 0m, 0065. Ma l'eruzione dello Skaptar Jokul non è la maggiore che si conosca. Stando alle parole dello Scrope il Consegnina in una sol volta avrebbe dato un prodotto quadruplo, e quindi avrebbe potuto fondere uno strato di ghiaccio dello spessore di 0m, 0054, a 0m, 0092, e la perdita di calore interno avrebbe o quasi ugungliato o superato di molto quella attribuita alla irradiazione annuale. Si rifletta poi che le lave rappresentano probabilmente la parte minore del calorico emesso in una eruzione, mentre la parte maggiore è rappresentata dal vapore acqueo, che erompe in tal copia, da produrre, condensandosi, disastrose inondazioni sopra vaste regioni, e che cento e cento vulcani erompono o fumano continuamente all'ingiro del globo; sicchè dovrà sembrare piuttosto limitata che esagerata l'idea da noi espressa, che, cioè, la perdita del calore centrale dovrà essere facilmente raddoppiata, in considerazione delle sorgenti termali, e principalmente dei vulcani.

I matematici che calcolano l'istante in cui la terra dovrebbe essere interamente ghiacciata, calcolano anche, sugli stessi dati, il momento in cui la terra, dallo stato di primitiva fusione, si ridusse a quella di una superficiale solidità. A questo tendono, per esempio, i recenti calcoli di William Thomson (*Transact of Roy. Soc. of Edimburg*, Vol. XXII, 1860). Egli avrebbe trovato un *minimum* di 20 milioni d'anni, per rimontare all'epoca, in cui poteva aver luogo il primitivo consolidamento della terra. Ma se noi raddoppiamo la perdita del calore, dimezziamo il numero degli anni decorsi dal primo consolidamento fino a noi, e avremmo un *minimum* di 10 milioni di anni. Ma il primo momento del consolidamento superficiale del globo non poteva esser quello della prima apparizione della vita; molto meno poi della vita siluriana, che esigeva approssimativamente le condizioni attuali del globo, limpidi mari e splendido cielo. I 10 milioni d'anni potrebbero così venir ridotti a 5 milioni; ma allora vi ha egli proporzione tra il tempo calcolato sulla irradiazione del calore interno, e quello che si può calcolare forse con maggiore sicurezza sullo spessore degli strati? Anche da questi calcoli si dedurrebbe adunque che, nel supposto di una quota iniziale di calore, il consolidamento e la vita non avrebbero cominciato che in epoca molto più recente di quella in cui cominciarono realmente. Ammettendo invece un calore perenne, un sistema di forze coordinate a mantenere già da milioni e milioni di anni il pianeta nelle sue condizioni termiche attuali; si spiega benissimo come, da milioni e milioni di anni, prosperi all'esterno la vita vegetale e animale, e ferva nell'interno la vita vulcanica. Certo dal periodo siluriano del Trenton (*Parte seconda*, § 891) in cui ne' mari rigurgitava la vita, e a cui si riferiscono probabilmente tante sterminate masse granitiche, fino a noi, non si nota alcun sintomo che dica in decremento nè la forza vitale, nè l'attività vulcanica. Eppure io credo che non sarebbe una esagerazione l'assegnare al lasso di tempo, che corse dai primordi del Trenton a noi, quei 20 milioni d'anni richiesti di William Thomsom come minimo, per rimontare all'epoca del primitivo consolidamento del globo.

Io non dò certo una grande importanza al valore di tali calcoli; tanto più che lo

stesso lodato autore fisserebbe, pel primitivo consolidamento del globo un *maximum* di 400 milioni d'anni, lasciandoci così agio a collocare tra il minimo e il massimo tutti i tempi richiesti da una teoria qualunque. Io ho accennato quei calcoli, unicamente per far sentire quanto deboli e quanto incerte siano le basi, sulle quali si regge la teoria di Laplace o piuttosto la teoria di Leibnitz, la quale suppone semplicemente la terra essere stata un liquido incandescente, senza curarsi del come già fosse pervenuta a quello stato.

349. Ammesso il progressivo raffreddamento, le oscillazioni della crosta terrestre in alto e in basso parevano potersi spiegare come semplici effetti della contrazione. È l'idea di E. de Beaumont, accettata, come ipotesi, da Dana. Un corpo, supponiamo una sfera di umida argilla, che si contragga e si spezzi, offrirà certo delle irregolarità: ma non si vede come possano prodursi tali, da paragonarsi ai rilievi terrestri. Molto meno poi si saprebbero spiegare tante consecutive rivoluzioni sulla stessa area, tanti ritorni di basso e di alto. Una fessura che si produca per contrazione, andrà allargandosi mano mano che il corpo si contrae: ma come mai quella fessura andrebbe alternatamente allargandosi e chiudendosi? e come mai le aree comprese fra le diverse fessure si andrebbero le mille volte alternatamente alzando e abbassando? La storia del globo è una serie continua di alternanze, un continuo ritorno, un continuo circolo di effetti, che accusa un continuo circolo nelle cause. Ricordatevi come, non solo il rimutarsi di ogni grande epoca, ma il succedersi dei diversi periodi di ciascun'epoca, e gli stessi diversi incisi di ciascun periodo, accusi una serie così continua di oscillazioni, che si direbbe, ogni area, in cui può dividersi la superficie terrestre, essere stata in preda a un palpito febbrile continuo. Ricordatevi quante volte sull'area, per esempio, degli Stati Uniti, durante l'epoca paleozoica, si alternavano i liberi mari, colle limpide acque, ove i coralli edificarono le montagne calcaree, e i bassi fondi, ove si accumularono i fanghi prediletti dai graptoliti silurici, e le costiere, ove si adunarono potenti le sabbie e le ghiaje preferite dagli acefali e dai brachiopodi, e i mari interni salati in eccesso, ove si spegneva la vita. Come mai tutto questo si può ripetere da un processo di progressivo raffreddamento, e di progressiva contrazione, che doveva operare sempre nello stesso senso?

Farò un altro riflesso suggeritomi dalle oscillazioni che presenta attualmente la crosta terrestre. Il raffreddamento che avrebbe luogo attualmente secondo i calcoli, sarebbe una cosa così tenue, così inapprezzabile, che ci vorrebbero molte migliaja d'anni perchè esso raffreddamento si rendesse appena sensibile. Le oscillazioni invece che avvengono attualmente, benchè d'una lentezza veramente secolare, possono dirsi rapidissime in confronto a quelle, che dovrebbero aver luogo pel raffreddamento del globo. Fu calcolato che il sollevamento della Scandinavia ha fino il valore di un metro e cinquanta centimetri per secolo.

350. Si va dicendo che il vulcanismo è in diminuzione. Ma è poi vero? La moltitudine degli attuali vulcani, la vita vulcanica di certe regioni del globo, come delle regioni del Caucaso e della Persia in tempi recentissimi, dell'America verso l'Oceano Pacifico, d'Islanda, d'Italia, di Giava e di tutto il vasto arcipelago indiano; le poderose eruzioni ai tempi nostri dello Skaptar-Jokul, del Conseguina; sono tutt'altro che argomenti di un vulcanismo affievolito. Anzi io credo che, se vi è una differenza tra l'attività vulcanica nei tempi andati e quella dei tempi presenti, questa differenza è tutta in favore della attività dei tempi attuali. Io non credo insostenibile la tesi che il vulcanismo è massimo nell'epoca attuale. Si badi primieramente alla mole degli attuali vulcani, in confronto a quelli d'epoca più antica. I vulcani dell'Eifel, dell'Aver-

Digitized by Google

nia, della Spagna sono per la maggior parte pigmei in confronto all'Etna, ai vulcani di Giava, e sopratutto ai vulcani d'America, costituenti le sommità più elevate delle Ande e delle Cordilliere. Si dirà che quei coni più antichi furon scemi dalla demolizione: ma i crateri di ceneri dell'Alvernia sono così freschi e così rispettati come quelli del Vesuvio e dell'Etna. Si dirà anche che l'Etna, il Picco di Teneriffa ardono probabilmente fin dai periodi pliocenico e miocenico. Ma i grandi vulcani dell'Italia centrale, per esempio, sono creazione tutta post-terziaria. Del resto, se per epoca moderna intendiamo gli ultimi periodi, cominciando dal miocene e venendo fino a noi, siamo sicuri di vederci compresa, salvo forse qualche eccezione, tutta quella congerie di montagne, che si dicono vulcani attivi o spenti, il cui catalogo di circa 500 potrebbe facilmente arricchirsi fino a mille, e in cui sono compresi tanti colossi d'Europa, d'Asia, d' America, tutto in fine quell'immenso apparato di coni giganteschi, sparsi sopra aree smisurate, e rappresentanti una frazione soltanto di quegl' immensi depositi lavici che coprono così vasti distretti, e celano tanta parte dell'antica superficie del globo con un velo di centinaja e migliaja di metri di spessore. E tutto questo è opera di un' epoca, o di una serie di epoche, rappresentanti una semplice frazione dei tempi geologici, cioè la quarantesima o la cinquantesima parte della durata del mondo, cominciando a contare dai sedimenti più antichi. Per provare che il vulcanismo si estingue, bisognerebbe dimostrare che la somma delle rocce eruttate dal principio fino al periodo miocenico è quaranta, cinquanta volte maggiore della somma dei prodotti vulcanici, contando dal miocene fino a noi.

351. Al postutto non vogliamo sostenere letteralmente che il vulcanismo sia in progresso; ma io credo che il volere ammettere un regresso, cioè una diminuzione dell'attività interna del globo, sia un far divorzio colla logica dei fatti. Lo studioso della natura può calcolare *a priori*, che tutto quaggiù si regge in un gran sistema di compensazione, ove si conciliano l'unità colla varietà, la stabilità col moto perpetuo, la distruzione colla creazione, sicchè tutto rientra in quel circolo girevole, che non si romperà mai, finchè nol vorrà Colui da cui gli venne il primo moto. Io credo difatti alla continua riproduzione del calore centrale, e tutti i fatti geologici mi confermano in tale opinione.

352. La storia geologica è una vera storia di rivoluzioni. Sollevamenti e depressioni; conflagrazioni di vulcani e periodi di vita animale e vegetale; periodi di attività e di tempeste, periodi di riposo e di calma; e tutto questo lavoro succede a intervalli, a intermittenze, e tutto ciò si opera sulle identiche aree. Pigliamo qualunque regione del globo, per esempio, la regione delle Alpi, la quale non è che un punto della sua superficie. Quante volte dall'epoca paleozoica fino a noi furono alterate e radicalmente rimutate le condizioni di quest'area! Quante volte fu regione di parossismi vulcanici, quante volte invece regione di limpidi mari, e di foreste maremmane, o di aeree terre! Quanti lunghi periodi di calma ci indicano quelle enormi masse calcaree del trias, della creta, del terreno nummulitico, popolate da splendide faune! E quanti parrossismi sono testimoniati da quelle enormi masse di graniti, di dioriti, di serpentini, di porfidi, di basalti, che segnano, colla loro apparizione, tante successive convulsioni, le quali agitarono questa terra in tutti i tempi! E lo spettacolo delle Alpi è lo spettacolo del globo. Io non intendo, ripeto, come una massa la quale va raffreddandosi come una palla di cannone infuocata e posta a raffreddarsi nei liberi spazî, possa andar soggetta a tanti sconvolgimenti, e a tali intermittenze. L'intermittenza dei fenomeni geologici dice un qualche cosa che nasce, cresce, si perde e si riproduce con continua vicenda. E questo qualche cosa pare es-

sere appunto il calorico che si produce, si aumenta, si sfoga, poi si riproduce, per aumentarsi e sfogarsi di nuovo. E ciò avviene col moto continuo di tutti gli elementi tellurici, e nominatamente dell'acqua, agente primario de'fenomeni endogeni. Così la terra potrebbe paragonarsi ad una caldaja che abbia la sorgente calorifera in sè stessa, (come è, per esempio, una boccia d'acqua, con acido solforico e limatura di ferro, ove si sviluppa così intenso calore, mentre si svolge l'idrogene) e sia munita di una valvola di sicurezza.

353. Non è vero infatti che è una similitudine da tutti accettata, e da tutti ripetuta, questa, che i vulcani sono altrettante valvole di sicurezza? Che vuol dir ciò? È uno dei molti casi in cui il buon senso prevale alla scienza. Se la terra si raffreddasse continuamente, perdendo il supposto calore iniziale; dove troverebbe a volte a volte la forza di riprodurre quelle scene spaventevoli di terremoti e di eruzioni, che annunciano qualche cosa di ben vivo là dentro, un vero Encelado, secondo il mito degli antichi, che di tratto in tratto s'acquieta, quasi per raccogliere le forze necessarie a buttarsi di dosso la montagna che lo schiaccia. L'esperienza ci ha insegnato che nei distretti vulcanici, cioè ove si rivela a preferenza, per esterne manifestazioni, l'attività interna del globo, vi hanno talora secolari riposi. Viene un tempo in cui la terra direbbesi in gestazione, agitata da tremiti convulsi. Terremoti che si ripetono per mesi e mesi, sotterranei boati, emanazioni gazose, sono fenomeni precursori che spargon l'ambascia negli animi, che aspettano con certezza una conflagrazione. L'eruzione scoppia; furente dapprima, si acquieta poi a poco a poco. Collo sfogarsi dell'eruzione cessano i terremoti, tacciono i muggiti sotterranei, e a poco a poco si ripristina la calma. L'esperienza ci ha dunque detto in chiare note che l'agente primario dell'attività interna del globo, cioè il calore, applicato specialmente al riscaldamento dell'acqua, che diviene alla sua volta il primario agente chimico e meccanico, si va sviluppando continuamente: quindi, se non ha sfogo immediato, si accumula, si fortifica, acquistando una tale energia, che indubbiamente la terra dovrebbe scoppiare, come scoppia una bomba, come scoppia una caldaja a vapore, se non esistessero, tutto all'ingiro del globo, tanti spiragli, per cui gl'interni vapori trovano sfogo, appena raggiunto un certo grado di tensione. L'esperienza ci ha dunque insegnato che i vulcani funzionano come valvole di sicurezza. L'apertura di queste valvole sfoga il di più di calore, che si è accumulato durante un certo periodo di esterno riposo. Allora ha luogo anche internamente l'equilibrio e la calma. Ma il calore di nuovo si aduna, di nuovo si accumula, e prepara nuove conflagrazioni. Tutto questo ce lo dice l'esperienza. E notate bene che non si tratta del Vesuvio piuttosto che dell'Etna, per cui si creda, come si pensava una volta, ad una attività localizzata, ad un accumulamento di calore, a cui si potrebbe supporre un'origine affatto speciale. Si parla di tutti i vulcani, si parla di quella serie di molte centinaja di spiragli, praticati all'ingiro del globo, e che disegnano il perimetro di tutti i continenti. Si parla dunque d'una vera attività tellurica; si parla della continua riproduzione di quel calorico interno, che fu appunto sancito mediante le esterne manifestazioni, tra le quali primeggiano i vulcani. Tutto questo, ripeto, ce lo dice l'esperienza in sì chiare note, che l'idea di un globo che si congela, si esaurisce, come uomo che lentamente invecchi, ripugna assolutamente al buon senso.

354. Ma come si spiega poi questa riproduzione, meglio questo continuo sviluppo, del calorico interno? Noi ne abbiamo già detto qualche cosa, accennando come essa, potesse ripetersi complessivamente da quella continua attività chimica interna, di cui le sorgenti, le emanazioni gazose, i vulcani, non sono che una serie di grandiose

manifestazioni (*Parte prima*, § 944). Accennavamo all'ipotesi, di Davy la quale ripeteva la produzione del calorico centrale dalla continua ossidazione di un nucleo metallico. Questa ipotesi, che sembrava abbandonata per sempre, è rimessa in onore da Daubrée, il quale suppone in genere l'interno del globo composto di metalli alcalini. Il processo della ossidazione e della acidificazione, attivato dall'acqua circolante nelle maggiori profondità del globo, sotto forte pressione ed elevata temperatura, deve considerarsi al certo come causa immanente ed attivissima di sempre nuovo sviluppo di calore. La costituzione di tutte le rocce eruttive, composte di silicati, la cui origine si deve indubbiamente all'azione dell'acqua ad alta temperatura, mostrano evidentemente come l'acqua funzioni come calorifico primario. Aggiungi i moltiformi processi, in cui sono impegnati, unitamente all'acqua, tutti gli elementi del globo, e il cui risultato è quel numero infinito di combinazioni, cioè di minerali, di cui tutta la massa del globo è così abbondantemente disseminata.

355. La *dinamica terrestre*, del pari che la *geologia endografica*, sono fatte per darci un'idea ben grande di questa inesauribile attività dell'interno del globo, di cui molto abbiam visto e molto ci resta a vedere. Discendendo all'imo della serie dei terreni, e rimontando fin all'attuale superfice, ove eruttano centinaja di vulcani, noi troviamo che la terra non cessa, nè ha cessato mai, di ammanire nel suo interno, in masse enormi, quei magma cristallini, e di vomitarli successivamente all'esterno. Dapprima erano masse granitiche, dioriti, porfidi, serpentini; poi divennero trachiti, basalti, leucitofiri; ma sempre impasti preparati mediante un intenso calore, e rigettati allo stato incandescente. Le vene, i filoni, e tutto quel mirabile intreccio, quasi filograna di vene metalliche e di vene saline, da cui la crosta del globo è allacciata, quasi da finissima rete, ci attestano come alle eruzioni vulcaniche si associarono sempre le acque e i gaz, circolanti e nascenti alla superficie, sotto forma di sorgenti termali, minerali, e di emanazioni gazose. La storia della terra in fine attesta l'esistenza di una forza perenne, che perpetua la vita nell'interno del globo.

356. A nessuno certamente cadde mai in pensiero di applicare al calore animale le soluzioni di Fourier. Perchè? Gli animali non hanno anche essi un calore che continuamente si irradia all'esterno? Ma qui l'irrecusabile esperienza ci obbliga ad ammettere una forza vitale, che, mantenendo la circolazione del sangue, la respirazione, le secrezioni, tutte in fine le funzioni animali, è causa della continua riproduzione del calore animale. Se io dicessi che la terra vive, non farei che affermare l'esistenza di una forza, misteriosa del pari che la forza vitale, ma i cui sintomi non sono meno sicuri, e rivelati del pari dalla più volgare esperienza.

357. I vulcani a volte a volte tranquilli, a volte a volte in furore, sono forse testimonî di una vita perenne nel globo più equivoci dei battiti del cuore, e dei parossismi febbrili nel corpo animale, benchè certamente d'ordine diverso? Le combinazioni chimiche, per cui si generano in seno alla terra i silicati, e si sublimano ne'suoi meati i minerali metallici, sono fenomeni che presentano la più chiara analogia colla produzione continua degli elementi dell'organismo nel corpo dell'animale, mediante la continua composizione e scomposizione degli stessi elementi, sotto l'impero della forza vitale. Ma verrà un punto, si dice, in cui queste combinazioni chimiche nell'interno del globo, saranno ultimate; in cui ogni atomo d'acido avrà trovato il suo atomo alcalino; in cui in somma avremo l'equilibrio degli elementi, sicchè scompaja ogni ragione di chimica attività. Verrà, rispondo, e potrà avvenire come avviene la cessazione della vita nell'animale. Ma chi mai *a priori* può fissare ad un animale qualunque il momento in cui sarà esaurita quella forza vitale, la cui natura è assoluta-

Digitized by Google

mente un mistero per noi? Così, chi potrà prevedere se e quando avverrà codesto supposto esaurimento dell'attività interna del globo? Si può egli negare *a priori* una forza, una legge, per cui il circolo delle combinazioni chimiche si chiuda per ricominciare, come vediamo parzialmente verificarsi di tanti fenomeni tellurici? Noi vediamo per esempio, come il mare continuamente svapori. Arrestandoci al semplice fenomeno della evaporizzazione, potremmo fissare il giorno in cui il mare rimanga interamente asciutto. Ma noi sappiamo che ciò non può avverarsi, perchè l'acqua evaporata si condensa nelle regioni aeree e ricade principalmente sulle terre, ove i fiumi la riportano al mare. Se a noi fosse ignoto questo meccanismo della circolazione delle acque superficiali, eppur vedessimo il mare, che di continuo evapora, mantenere inalterato il proprio livello, non dovremmo ammettere ugualmente che esiste una legge, per cui l'acqua marina si rifà continuamente delle proprie perdite? Io non veggo come alla terra, che di continuo irradia, ritorni il calore perduto; veggo però come la terra non dà segno di raffreddarsi, di spegnersi, come anzi mostri il bisogno di sollevarsi da un eccesso di calore, tendente a determinare una generale conflagrazione. Io debbo dunque ammettere una riproduzione di calore, un calore perenne. Anzi noi siamo già sulla via di scoprire le ragioni di questo, che si potrebbe chiamare *circolo dell'attività calorifica del globo*. Non vediamo infatti come ritorni alla terra il calore perduto; vediamo però come ritorni quello che vuol chiamarsi il primo agente calorifico, l'acqua. Di continuo repulsa dall'interno, per le vie delle sorgenti e dei vulcani, di continua ritorna, per occulte vie, filtrando fin dentro i camini vulcanici.

858. Ai fisici, i quali non saranno certamente troppo consenzienti alle mie idee, risponderò finalmente così: per spiegare i fenomeni termici del globo, voi siete costretti a ammettere un calore iniziabile, che sarebbe quello che i meccanici direbbero un *moto primo*, una prima spinta, di cui ignorano l'origine. Data questa prima spinta, voi sostenete che il moto va diminuendosi, finchè dovrà esaurirsi; anzi calcolati i valori della potenza e della resistenza voi potete fissare l'istante in cui la macchina si arresti. Invece di una prima spinta che cessa, io ammetto una spinta che continua. Non posso egualmente supporla, benchè ugualmente ne ignori la origine? Ma questa idea d'una continua spinta si concilia col sistema dell'universo, ove tutto è circolo, ove tutto si immuta, ma tutto si perenna. Venga pure il giorno in cui il circolo cessi, ma a noi basta che esso non si sia ancora rallentato, come ne fa fede tutta la storia del globo. Si è egli rallentato, ovvero dà egli segno di rallentarsi il moto della terra intorno a sè stessa, o intorno al sole?

859. Riduciamo la questione, quale io la veggo, a'suoi minimi termini. Io non sostengo una riproduzione del calore, che si direbbe una creazione continua, la quale non trova ragione nelle sole forze della natura, ossia nell'inerte materia, e la dovrebbe ripetere da ciò che è superiore alla natura, ed immediatamente da quella volontà suprema, che, di continuo mantenendo, di continuo crea. Entro i limiti di una scienza che non oltrepassa i confini delle forze naturali, io dico che l'idea di una massa che da un altissimo grado di supposta temperatura originaria, va di continuo discendendo, finchè sarà ridotta alla gelata temperatura degli spazî, non spiega sufficentemente i fatti. La continua riproduzione dei fenomeni naturali, dice riproduzione o perennità di causa. Se questa causa è un calore iniziale, attribuito alla terra in una certa quantità, che si va di continuo scemando, rimarrà sempre a spiegarsi come l'azione di questo calorico si determini ad intervalli, in guisa da produrre una serie innumerevole di fenomeni intermittenti. È troppo più probabile che il calore sia in continuo sviluppo. Nella volgarissima esperienza, già da noi accennata come similitudine, della

produzione dell'idrogene, io piglio una ampolla d' acqua, e vi butto della limatura di ferro o di zinco, quindi una certa dose di acido solforico. Vedo allora che l'acqua fredda si riscalda, e riscalda l'apparato, la cui temperatura si mantiene in eccesso, ad onta della irradiazione in un ambiente freddo. Potreî anzi con facile congegno ottenere una serie di eruzioni gazose che si riproducono con uguale intensità, alternando con periodi di riposo. In questo semplicissimo apparato il calorico e l'attività chimica si riproducono, si perennano, precisamente nel senso che io dico in continua riproduzione il calore centrale. Va bene che nel mio apparato cesserà ogni sviluppo di calorico e di gaz, quando ogni atomo di zinco abbia trovato il suo atomo di ossigeno. Vi ha intanto però un tempo in cui l'attività dell'apparato, e lo svolgimento del calore, sono perenni. Mi basta: io non sostengo altro che questo, la terra essersi trovata e trovarsi finora in questo periodo di attività perenne, il quale non accenna a voler chiudersi tanto presto. Tutto si ridurrebbe dunque ad attribuire alle combinazioni chimiche degli elementi uno sviluppo di calore continuo finchè dureranno i disequilibrî degli elementi, in luogo di ammettere soltanto una quota iniziale, che va diminuendosi per irradiazione. E ciò, finalmente, mi pare anche più consono colle idee ora accettate sulla natura del calorico, il quale, cessando di essere un fluido che si perde e si diffonde, non è che un moto vibratorio delle molecole, non è che un modo di essere della materia in date condizioni, modo di essere che continua, cessa, si riproduce, ogni volta che continuano, cessano, si riproducono le condizioni. Finalmente io non nego l'esistenza di un calore iniziale; anzi lo credo necessario, come condizione della produzione originaria dei fenomeni tellurici; ma considero come causa immediata di essi fenomeni, nominatamente dei fenomeni vulcanici e delle oscillazioni della crosta terrestre, il calore che si sviluppa per le incessanti combinazioni di tutti gli elementi tellurici, e da lui ripeto le vicissitudini della terra, considerate dalla geologia positiva, il cui campo credo assai limitato verso il passato, e quasi assolutamente chiuso verso l'avvenire.

360. Queste idee, se non corrispondono letteralmente al concetto di Scrope, gli si approssimano assai. Parlo così, perchè non posso asserire che il concetto dello Scrope sia assolutamente definito. Egli infatti, mentre nel corso dell'opera si dichiara formalmente per la continua riproduzione del calore interno, sembra vacillare sulla fine e piegarsi alquanto verso l'idea di Laplace. « Il a été demontré, que les phenomènes des volcans en activité indiquent l'accroisement continuel du calorique provenant de quelque source inconnue. » Così dice alla pag. 263 della sua opera *Les Volcans*. A pag. 304 pone la questione, se quella attività alla quale si devono le oscillazioni del globo operò in maniera uniforme, e andò progressivamente descrescendo. Risponde che l'attività dei vulcani non sembra punto in decrescenza fin dalle epoche più antiche; dal che si conchiuderebbe, che anche l'azione plutonica (quella a cui si attribuiscono le oscillazioni della crosta terrestre) fu, per analogia, ugualmente uniforme. Nulla, egli dice, ci impedisce ragionevolmente di pensare che le successive operazioni di fusione, di cristallizzazione, di sollevamento, di depressione, di sedimentazione si siano succedute *da tutta l'eternità*. Questo supposto, continua egli, implica l'altro, che la trasmissione esteriore del calore dall' interno del globo, il primo motore di tutta quella serie di fenomeni, ha dovuto continuare senza diminuzione nel corso dei tempi. Ma a questa prima ipotesi si oppone quell'altra divenuta così popolare che il globo si raffredda lentamente, dopo essersi trovato già in uno stato di fusione, od eziandio di gaz o di nebulosa. Io non proferirò, conchiude egli, nessun argomento nè pro nè contro; « je mê contenterai cependant de dire que la seconde

théorie me semble présenter la solution la plus probable sur la source de la chaleur intérieure du globe, solution qui, du reste, semble encore étayée de considerations tirées de l'ordre astronomique. » (*Les Volcans*, pag. 305.)

361. Fa veramente meraviglia questa contraddizione, almeno apparente, in un autore che è sempre così chiaro, e così conseguente. Ma forse sparirebbe, quando si ammettesse, come io ho enunciato, l'esistenza di un calore iniziale, di cui si ignora l'origine, ma che deve ammettersi necessariamente, come condizione, non solo dei fenomeni tellurici, ma anche dei fenomeni cosmici; ritenendo poi, come io ritengo, la continua riproduzione di una temperatura elevatissima, per un tempo indefinito, come è attestato dai fenomeni endogeni, che si produssero, senza sensibile diminuzione, dall' epoca azoica fino a noi. Ammessa in questo senso la riproduzione del calorico, le oscillazioni della crosta terrestre, cioè il continuo alternarsi di sollevamenti e di abbassamenti delle stesse aree superficiali, si spiegherebbe benissimo, colla teorica dello stesso Scrope, da noi già brevemente esposta (*Parte prima*, §§ 971, 977). Diceva allora che la teorica di Scrope trae argomenti in favore, più che dai fenomeni attuali, considerati dalla dinamica terrestre, dalla gran serie di rivoluzioni, considerate dalla geologia. È qui adunque il luogo di riprendere quella teorica e di vedere se si concilia coi fatti molteplici, di cui ora siamo in possesso.

362. La teorica dello Scrope si riassume nei seguenti periodi, che io traduco quasi alla lettera del Cap. XII della sua opera sui vulcani.

Il calore interno si accresce di un grado, ogni volta che si discenda da 50 a 100 piedi di profondità verticale (communemente si ritiene l'accrescimento di 1.° centigrado per ogni 30 metri). Da ciò una continua irradiazione del calore nello spazio. Un altra perdita di calore, più irregolare, ma non meno costante, ha luogo per le continue emanazioni gazose, per l' emissioni delle acque termali, per le eruzioni vulcaniche. Questa continua emissione, attraverso l' immensa durata delle epoche geologiche, è testimonio della continua riproduzione del calorico nell' interno del globo. Anzi i raggi indicati non sono sufficienti a mantenere l'equilibrio tra la perdita e la produzione. L' eccesso si traduce nella espansione, ossia nella dilatazione di grandi masse interne, che reagendo contro l'esterna, comparativamente fredda, producono frequenti, grandiosi sollevamenti. È però possibile che non si tratti di un reale eccesso di calorico nell'interno del globo, ma di un afflusso che, date certe cause, si determina or qua or là, per cui si verifica un movimento oscillatorio, trovando compenso ogni sollevamento in un proporzionale abbassamento.

Secondo Herschel, citato da Scrope, i mutamenti, che affettano il livello della crosta terrestre, sono da attribuirsi esclusivamente *a dei cambiamenti nell' incidenza della pressione sul substrato generale di materia liquefatta che sopporta il tutto.* Anche però nel supposto che il substrato non fosse liquido, o nol fosse interamente, un afflusso di calore in un punto, piuttosto che un altro, cambierebbe ugualmente l' incidenza della pressione, e produrrebbe variazioni di livelli. Ma quali cause determinano gli squilibrî del calore interno?

Le cause si dovrebbero cercare nei depositi che vanno successivamente accumulandosi sopra certe vaste superficie. Intendi specialmente superficie sotto marine. L' opinione di Scrope è divisa da Babbage nelle sue notizie sul tempio di Serapide (*Geol. Proceedings*, II, pag. 79). E ci avverte lo stesso Scrope, che la teorica di Babbage fu dichiarata perfettamente fondata da Phillips, in un discorso tenuto alla Società geologica nel 1859, ove osservava come uno spostamento delle zone isotermiche interne era necessaria conseguenza d' ogni abrasione che avvenisse sulle

Digitized by Google

parti asciutte della terra, come d'ogni deporsi di strato sul fondo del mare. I depositi sottomarini, sabbie, ghiaje, argille, fanghi, costituiscono iufatti altrettanti strati coibenti, i quali devono opporsi alla irradiazione del calorico interno sulle aree sottomarine cui vanno, per così dire, ovattando.

Impedita o rallentata la trasmissione del calorico all'esterno, si accumula nell'interno, e si espande lateralmente. La dilatazione di una massa interna, proporzionale a quella che si ricopre di sedimenti, e alla quantità de'sedimenti stessi, ne sarà l'immediato effetto, e conseguenza ultima il sollevamento dell'area sedimentare. I dislocamenti, i salti, le squarciature saranno inevitabili, e avranno per conseguenza una vibrazione elastica, che propagherassi orizzontalmente, cioè un terremoto.

363. La figura 23 (7.ª dell'opera dello Scrope) spiega assai bene come egli intenda la cosa.

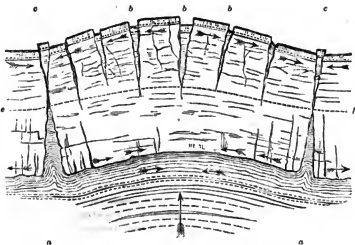



Fig. 23. — Sezione ideale d'una massa che si solleva secondo Scrope.

Qui si vede come una porzione *e f* della crosta terrestre è ripiegata ad arco dalla pressione interna, che agisce dal sotto in su, perpendicolarmente alla superficie terrestre. Appena la potenza, cioè l'interna pressione, vinca la resistenza, cioè la gravità, che reagisce associata alla forza di coesione della roccia, si determineranno delle fessure lineari e parallele. Esse fessure saranno di due ordini, corrispondenti cioè al doppio modo di ripiegatura degli strati. Ricorrendo al linguaggio stratigrafico, diremo, che vi saranno *fessure dell'anticlinale b b b*, divaricate dalla superficie al centro, e *fessure della sinclinale a a a* divaricate verso il centro, e chiuse verso la superficie.

Tale sarebbe, secondo lo Scrope, lo schema, per così dire, di tutti i sollevamenti, e degli effetti che ne conseguono. Chi non vede come il modo, immaginato dallo Scrope, sia il più atto a dar ragione di tutti i fenomeni che si manifestano in seguito alle grandi oscillazioni della crosta del globo? Ogni crepatura che si determina in un solido qualunque, non avviene senza scossa, ed ecco nelle crepature della crosta terre-

Digitized by Google

stre la causa dei terremoti. Le fessure che si aprono, in seguito alle crepature, divengono altrettanti sfiatatoi, per cui l'attività interna si sfoga, dando origine ai vulcani, e ad ogni modo di secondarie manifestazioni. Ma di tali fessure quali saranno le più atte a convertirsi in camini vulcanici? Le *fessure dell'anticlinale* no, perchè aperte e larghe all'esterno, chiuse invece, o almeno anguste, nell'interno. Le *fessure della sinclinale* al contrario spalancate all'interno, verso la massa lavica che si rigonfia, o tende ad aprirsi un adito al diffuori, presentano quanto di più opportuno si possa immaginare per agevolare l'eruzione. È vero che la compressione orizzontale a cui, per l'effetto della forza centripeta, è soggetta ogni porzione della crosta terrestre, deve tendere del pari a chiudere, a suggellare, sia le *fessure dell' anticlinale* in basso, sia le *fessure della sinclinale* in alto. Ma contro il suggellamento delle *fessure della sinclinale* vi sono diverse ragioni, le quali non militano punto pel suggellamento delle fessure dell'altro ordine.

1.° La pressione orizzontale tende a chiudere le fessure, serrandone le labbra con tal forza (si tratta di tutta la crosta terrestre impegnata in tale sforzo), che le labbra stesse, ossia gli spigoli a contatto, saranno facilmente rotti, scheggiati. È cosa communissima d'osservarsi quella che, al rompersi, per esempio, di una pietra, vi sono quasi sempre delle schegge di forma conica, ossia parti del labbro stesso della crepatura, staccate o buttate fuori.

Questo effetto si produrrà facilmente, e a una scala proporzionale, per le *fessure della sinclinale*, non incontrandosi nessuna apprezzabile resistenza alla formazione e all' espulsione dei coni. È tale accidente rappresentato nella figura di Scrope dai due coni *c c*. La cosa non potrà invece avere effetto per le *fessure dell' anticlinale*, mentre alla formazione e all' espulsione de' coni si oppone di tutto peso quella forza stessa di compressione dal sotto in su, che, vittoriosa di tutte le forze opposte, produce il sollevamento.

2.° La massa interna, che, animata dai vapori ad enorme tensione, si injetta liberamente nelle *fessure della sinclinale*, agisce orizzontalmente contro le pareti delle dette fessure, elide, almeno in parte, l'effetto della pressione orizzontale, e tende a divaricarle sempre più, mentre al contrario *lavora* a stringere viemmaggiormente le labbra delle *fessure dell' anticlinale*.

3.° Il sollevamento della anticlinale, e, la formazione delle *fessure della sinclinale* hanno già aperto un qualche sfogo alla massa che si dilata internamente, e diminuitane la tensione. Ognun vede come sui lati del rigonfiamento, dove la tensione è già minima in origine, e più facile lo sfogo, la forza centripeta possa vincerla sulla pressione interna, sicchè le parti della crosta terrestre, laterali al rigonfiamento, si infossino producendo una più larga discontinuità in *a c a c*.

364. Naturalmente non si dice che vi deva essere soluzione di continuità su tutto il perimetro del sollevamento. Il mutuo bisogno di appoggiarsi terrà anzi sempre a contatto, in molti punti, la massa centrale sollevatasi, colle laterali, che tendono a deprimersi; ma, prodotta una frattura in quelle masse rocciose di enorme spessore, e sopratutto uno spostamento, ove la forza di gravità è tutta in favore dell' allontanamento dei lati della spaccatura dell'anticlinale, potranno risultarne delle soluzioni di continuità in molti punti, sufficienti a schiudere la via ad altrettanti vulcani, mentre in cento altri punti si manterrà un contatto, più che sufficiente a mantenere il rispettivo equilibrio delle masse depresse, e delle masse sollevate.

Nella teorica di Scrope sono da considerarsi, come ognun vede, tre cose affatto distinte l'una dall'altra. 1.° La causa, ossia l'agente del sollevamento. 2.° Il modo

Digitized by Google

con cui il sollevamento avviene. 3.° I fenomeni che sono una conseguenza immediata del sollevamento. Ora io trovo che, or sotto l'uno, or sotto l'altro di questi tre punti di vista, la teorica esposta trova di conciliarsi, anzi di completarsi colle idee espresse, nello stesso argomento, da validi pensatori.

365. Bischof ripete il sollevamento dal metamorfismo. Riserbandoci di trattare a miglior luogo delle leggi per cui si modificarono e si vanno continuamente modificando le masse componenti la parte solida del globo, ne anticiperemo quella soltanto, sulla quale appunto si fonda l'ipotesi di Bischof. Le rocce decomponendosi, come sogliono decomporsi sotto l'influsso de' più ordinari agenti, l'acqua, l'ossigene, l' acido carbonico, ecc., aumentano di volume. Il processo della decomposizione delle rocce, attivissimo alla superficie, ove gli agenti roditori operano associati universalmente all' atmosfera e alle acque, non è ignoto alle profondità terrestri. Il gas acido carbonico, il decompositore più rabbioso e più universale, emana in mille punti dall'interno del globo, tanto che fra le emanazioni gazose l' acido carbonico si meriterebbe il predicato di *emanazione universale*. L'acido carbonico, penetrando attraverso le rocce composte di silicati, li decompone. Il processo della decomposizione nelle profondità terrestri trova un possente ausiliario nell'altezza della temperatura. Le masse decomposte aumentano di volume, si gonfiano, sollevando in alto le formazioni sovrapposte (*Lehrb. d. chem. u. phys. Géol.* I, pag. 346).

366. Avverrebbe, per riguardo alla crosta terrestre nelle profondità, ciò che avviene quando un muro male intonacato sbolletta, per quelle piccole zolle di calce, non bene spenta, che si gonfiano e producono quelle screpolature che tutti conoscono. L'analogia è quanto si può dire perfetta. Invero quelle zollettine di calce, non idratate sufficientemente, quando la calce era messa a spegnersi, continuano ad idratarsi ora che si trovano incarcerate sotto l'intonaco. Idratandosi si gonfiano; e gonfiandosi agiscono come una lenta mina, per cui si determina un rilievo costituito da un piano inclinato circolare, alla cui base vaneggia una crepatura, la quale va dilatandosi, sempre alla base del sollevamento, finchè il pezzo sollevato, di forma conica, si stacca interamente e cade, lasciando un vacuo crateriforme. Se, in luogo d'una parete verticale, l' intonaco coprisse un pavimento orizzontale, il fenomeno succederebbe ugualmente, ma con questa differenza assai riflessibile, che il pezzo sollevato, in luogo di cadere fuori del proprio incavo, vi resterebbe, trattenuto dal proprio peso, e figurerebbe come una massa sollevata, circondata alla base da una fessura permanente.

367. La natura attuale non ci lascia privi di esempî molto parlanti in proposito. Sterry-Hunt descrive, per esempio, dei gessi dell' alto Canadà, i quali non sarebbero che il risultato dalla trasformazione del calcare, operata dalle sorgenti ricche di acido solforico nella stessa località. Quei gessi, in potenti monticoli, del diametro di oltre a 100 metri, riposano sopra strati orizzontali, mentre gli strati superiori sono inclinati sui fianchi dei monticoli. L'aumento considerevole di volume, portato dalla trasformazione del calcare in gesso, hanno prodotto il sollevamento degli strati sovrapposti. Gli abitatori di quelle località riportano di aver notato dei sollevamenti del suolo, posteriori alla fondazione dei loro stabilimenti, e che quelle oscillazioni, le quali facevano tremare le muraglie delle loro case, erano indizio sicuro della presenza di una cava di gesso (Lecoq., *Eaux miner.*, pag. 225.)

368. Per comprendere la potenza di questa specie di lievito, a cui Bischof attribuisce l'emersione, e il sollevamento de' continenti, bisogna riflettere alla potenza delle masse, che possono venir decomposte, ed alla cifra a cui può attingere l' aumento del loro volume. Quanto al valore delle masse, basti il pensare che le rocce in mi-

Digitized by Google

gliori condizioni per venir decomposte, come le più universalmente sparse, e le più antiche, sono i graniti, i porfidi, i basalti, le lave, gli schisti argillosi, infine, forse senza eccezione, le rocce eruttive e buona parte delle sedimentari, principalmente le più antiche. Quanto all'aumento di volume esso è espresso, per alcune fra le rocce più communi, nel seguente specchietto, in cui sono riassunti gli specchi analitici del Bischof. I numeri esprimono l'aumento di volume presentato da ciascuna roccia in seguito alla decomposizione, preso come 1 il volume della roccia allo stato normale.

Granito e gneiss	da	1, 3	a	1, 65
Basalte	"	1, 73	"	2, 13
Lava	"	1, 77	"	2, 243
Schisto argilloso	"	1, 3	"	1, 458

Per sollevare adunque, dice Bischof, una massa rocciosa all'altezza di un miglio, per produrre cioè una delle più elevate montagne del globo, basterebbe che a quella massa rocciosa servisse di base una massa di basalte della potenza di un miglio (e se ne conoscono masse di molte miglia).

369. Quando si ponderino bene la verità dei fatti, l'universalità del processo cui accenna Bischof, la potenza delle masse messe in giuoco, l'irresistibilità delle forze che si sviluppano, non si può a meno di sentirsi condotti ad attribuire alla teorica di Bischof una grande importanza. E noi gliela attribuiamo tanto più facilmente, in quanto parci che alla fine si unifichi colla teorica di Scrope e le serva di complemento. Quando lo Scrope induce come causa del sollevamento di una regione l'accumularsi del calore sotto l'area di quella stessa regione, tenendo calcolo unicamente della dilatazione e della espansività delle masse sotterranee, per effetto immediato della temperatura, non esclude tutti quegli altri effetti che possono essere per avventura coordinati allo stesso esito. Al modo stesso Bischof, mentre attribuisce il massimo valore all'incremento del volume per effetto delle combinazioni chimiche, non esclude quell'incremento che deve attribuirsi alla temperatura. Anzi lo stesso Bischof ci risparmia la fatica di conciliare la sua colla teorica di Scrope, a cui viene a dar la mano, forse senza saperlo.

370. Due grandi forze, egli dice, agiscono irresistibilmente in natura: il calore e l'affinità chimica, che produce la decomposizione. Entrambe queste forze portano un aumento di volume nella massa su cui operano. In alcuni casi però il calore è contrario all'affinità, per cui può avvenire che queste due forze si elidano. Ciò avviene in certi processi, anche a temperature mediocri; ma d'ordinario bisogna ricorrere alle temperature veramente eccessive, alle temperature di fusione delle rocce, per vedere impedito, anzi distrutta l'opera della affinità. Le cento volte su una invece, il calore, quale si sviluppa con progressione crescente dalla superficie a grandi profondità del globo, favorisce l'affinità, quindi la decomposizione. La chimica è tutta sul consentire a questa legge volgarissima, richiedendo per lo sviluppo, o per l'aumento, della affinità nei diversi processi, temperature proporzionalmente superiori alla temperatura atmosferica. I processi della decomposizione delle rocce interne si riducono a fenomeni di ossidazione, di acidificazione, simili in tutto a quelli che si producono nei laboratori col sussidio di temperature proporzionalmente elevate. Per conseguenza il processo della decomposizione, e il conseguente aumento di volume, voluti dalla teorica di Bischof, trovano in genere nell'attività delle interne temperature un ausiliario potente

in luogo di un nemico. L'effetto voluto da Bischof sarà promosso dalla causa voluta da Scrope.

Le contorsioni degli strati, sono, secondo Bischof, un grande argomento in favore della sua teorica. Ognun vede infatti, come una massa rocciosa interna che si gonfi, come cozza contro gli strati superiori, e tende a sollevarli, così urta e pigia quelli che gli si stringono ai fianchi. Nulla di meglio immaginato per avere una forza irresistibile, del pari che lenta, per cui sia messa in giuoco la plasticità dalle rocce, come vedremo più tardi.

371. Si potrebbe domandare a Bischof, come, colla sua teorica, si spieghino poi gli sprofondamenti, che in geologia hanno un valore pari ai sollevamenti. Ma se vi hanno rocce che si scompongono, altre ve n' hanno invece che si compongono. Mentre la natura da una parte decompone e distrugge dei graniti, dei porfidi, delle lave; da un'altra parte va ammanendo altri graniti, altri porfidi, altre lave, o equivalenti di tali rocce. Sono fatti che si accompagnano, non si escludono. Di continuo sotto i nostri occhi e si disfano le antiche rocce, e si formano le nuove. Se la decomposizione porta un aumento di volume, la ricomposizione, il ripristino delle masse decomposte, dove scemarlo: là un sollevamento, qui una depressione con mutua vece, e perfetta equivalenza. Quello stesso calore che là opera come potente ausiliario, qui lavora come primario agente. Il sollevamento si prepara nelle regioni superiori, dove si decompongono le rocce: lo sprofondamento nelle regioni inferiori, dove si ammaniscono le lave. « Nelle profondità, dice Bischof, donde si levano le lave, esistono masse in fusione ignea. Là si producono tali temperature, per cui i prodotti della decomposizione operata dall'acido carbonico sulle rocce di silicati, sul quarzo, sul caolino, sui carbonati, ritornano ad essere quello che erano, rimanendo liberi l'acido carbonico e l'acqua. Il volume diminuisce esattamente di tanto, di quanto prima si accrebbe colla decomposizione. *Il circolo è completo.* Spiegare come avvengano tali rivoluzioni di luoghi e di temperatura in quegli abissi, è ciò che si dilata oltre i limiti dell'orizzonte del nostro sapere (Bischof, *Lehrb. d. chem. n. phys. Géol.*, I, pag. 256). »

Non tenendo calcolo della espressione di *fusione ignea*, che io ritengo inesatta, Bischof non ci presenta che i fatti, e le loro più necessarie conseguenze. Questi fatti e queste conseguenze guadagneranno e luce e valore maggiore, quando avremo parlato delle leggi del metamorfismo interno. Intanto noi sentiamo di aver fatto un passo di più, mentre gli effetti dei continui squilibrî del calorico interno, contemplati nella teorica di Scrope, si trovano d'accordo allo stesso intento col processo della decomposizione, considerata nella teorica di Bischof. Motore primo di questa vita interna è però sempre il calore, che, agendo in modi diversi e contrarî, secondo le diverse circostanze, mantiene, sotto la larva di una apparente contraddizione, le meraviglie di un circolo perpetuo, cui sono legate le perpetue vicende del globo.

372. È certo confortante per lo studioso il vedere come certe idee dei grandi pensatori, i quali camminarono per vie diverse, o talora per diverso scopo o con opposte idee, collimino talora perfettamente, sicchè teoriche diverse ed opposte si conciliano e si completano. Scrope, geologo osservatore, interrogando i vulcani, e la forma dei rilievi terrestri, conclusе a squilibrî di calore interno, che dovevano produrre il dilatamento, quindi l'aumento di volume di masse sotterranee, e, per ultima conseguenza, il sollevamento. Bischof, chimico valente, avvezzo a cercare i segreti della natura nelle fiale e nei crogiuoli, trovò nella decomposizione delle rocce, che avviene con aumento di volume, la ragione meccanica delle oscillazioni del suolo. Ora ecco

Daubré, il quale, devoto al metodo esperimentale, riproducendo nel suo celebre apparato le condizioni del gran laboratorio tellurico, riesce egli pure ad assegnare gran parte dell'azione meccanica interna alla dilatazione, ossia all'aumento di volume, cui subiscono i minerali che si decompongono, o si originano sotto l'azione dell'acqua ad alta temperatura e corrispondente pressione. Egli nota come il vetro trasformato, come abbiamo visto più sopra (§ 236), aumenti più del terzo del suo volume. L'acqua, dice Daubré, ha dunque potuto avere dell'influenza anche nell'azione meccanica delle rocce eruttive. È assai probabile che le lave, idratandosi, o, come meglio forse direbbesi, generandosi, per l'idratazione di elementi solidi preesistenti, quindi aumentando assai di volume, abbiano potuto produrre la spinta e l'eruzione. Ciò dovrebbe dirsi principalmente delle fonoliti e dei basalti, la cui composizione è analoga assai ai prodotti ottenuti artificialmente coll'apparato Daubré (*Rapport sur les progrès de la géol. exper.* pag. 85.)

Tutte queste teoriche si conciliano e si completano in un modo meraviglioso. L'agente meccanico è sempre la dilatazione, l'aumento di volume delle masse sotterranee. Il calore, che vi affluisce e si accumula in questo punto od in quello, è causa già per sè della dilatazione delle masse riscaldate: al tempo stesso attiva e promuove, sopratutto per mezzo dell'acqua, quei processi di decomposizione e di ricomposizione, il cui effetto è un nuovo aumento di volume, che si verifica talora in proporzioni enormi.

373. Prescindendo dalle cause, e considerando soltanto il modo, con cui si opera il sollevamento, e gli effetti che immediatamente ne conseguono, trovo che le idee dello Scrope convengono con quelle di un altro autore, cui la lunga consuetudine deve aver reso assai famigliari i rapporti tra i vulcani e le catene sollevate.

Lasciando da parte ogni questione di priorità, io credo che il prof. Ponzi di Roma ha, al pari dello Scrope, il merito di non essersi lasciato trascinare dalla corrente che condusse i geologi ad ammettere ciò che è affatto contrario ai fatti, e di avere, in base a questi, creato una teorica identica a quella dello Scrope, nei limiti suindicati. Ponzi ha, se non erro, sullo Scrope il vanto di prescindere dalle curvature, che nella teorica di Scrope figurano, vedremo, come elemento inutile e disturbatore; più quello di aver dedotta la sua teoria da un caso pratico, atto eminentemente a rischiararla e a suffragarla. È strano però il vedere com'egli mantiene, dirò contro sè stesso, il commune errore di attribuire alle rocce eruttive la forza sollevante, fino al punto di volere, direi, per forza, dei graniti e dei serpentini in quelle catene dell'Appennino, che egli stesso visitò, senza trovarvi nemmeno una vena di granito, o di serpentino (*Sopra i diversi periodi eruttivi*, ecc. Roma, 1864).

Traducendo nel linguaggio stratigrafico, più famigliare ai nostri lettori, la dimostrazione del Ponzi (*Bull. Soc. Géol.*, 2 sér., tom, 7, pag. 455), essa suona così: L'azione interna, a cui si devono i sollevamenti, spezzando sopra differenti linee gli strati, e spingendoli in alto, in forma di piani inclinati, diè luogo a un sistema di sinclinali e di anticlinali. È facile comprendere (scrive in termini letteralmente conformi a quelli usati dallo Scrope, di cui pare gli fosse ignota la teorica) come agli angoli anticlinali corrispondano delle fessure, che restringendosi dall'alto al basso, dovevano essere facilmente saldate e ostrutte dalle lave che ci affluivano dall'interno; mentre gli angoli sinclinali corrispondono a fessure che si allargano verso l'interno, sicchè le lave vi trovavano libero l'accesso, e facile l'uscita. Venendo al caso pratico, egli osserva come la serie dei vulcani d'Italia, cominciando da quelli sui confini tra la Toscana e la Romagna, e terminando con quelli della Sicilia, occupano una linea, che direb-

Digitized by Google

besi di massima depressione, tra due catene parallele. La prima catena è quella dell'Appennino propriamente detto, che dalla Liguria si slancia direttamente verso sud est, ascendendo sempre fino al Gran Sasso d'Italia, punto culminante a 2,925 metri, poi discendendo, per perdersi nel calcagno d'Italia. L'altra catena non continua, ma frazionata in una serie di eminenze e di piccole catene, comincia in Toscana colle catene del Massetano e del Volterrano, continua nella Romagna coi monti di Civitavecchia e della Tolfa, riappare nei monti dei Volsci e degli Arunci, e si prolunga a Gaeta, salvo il ripigliare a suo luogo colla catena, che da Salerno si ricurva verso lo Stretto di Messina, e, passato lo Stretto, forma il rilievo della Sicilia, incamminandosi verso l'Africa. Io non starò a discutere se, come pensa il Ponzi, le due catene rappresentino due anticlinali, fra cui si deprima una sinclinale, a cui corrisponde la zona vulcanica. Ridurre al loro preciso valore stratigrafico quelle catene e quella depressione, è fare nientemeno che la geologia d'Italia.

374. Il fatto innegabile, messo in luce da Ponzi, è questo, che i vulcani d'Italia sono allineati sopra una specie di valle longitudinale, sopra una depressione, fiancheggiata da due rilievi lineari, da due catene. Se, per non introdurre complicazioni inutili al nostro scopo presente, prescindiamo dai vulcani di Sicilia, e ci restringiamo, come in effetto ha fatto il Ponzi, ai vulcani della Romagna e del Napoletano, la tesi è quanto semplice, altrettanto vera: è l'enunciato di un fatto, che non può ignorarsi da chiunque conosca un tantino di geografia d'Italia. I vulcani romani e napoletani sono allineati sulle falde mediterranee dell'Appennino, con parallelismo perfetto: ma tra i vulcani o il mare sorge una serie di eminenze, che, affermano, benchè meno continua, una catena parallela all'Appennino, parallela ai vulcani. Siccome entrambe le catene, l'Appennino e la catena littorale, mostrano una stessa serie di terreni sollevati; essi terreni dovettero, o ripiegarsi dal sotto in su, parallelamente a un asse sinclinale, o spezzarsi immediatamente, come vedremo essere più supponibile, in guisa da sollevarsi in due sistemi di eminenze parallele, ma indipendenti. In un modo o nell'altro tra le due catene deve verificarsi una depressione, e sarà la zona delle lacerazioni dei dislocamenti, di quel sistema di spiragli e di voragini, per cui eruppero un giorno gli incendî diuturni e spaventosi. Quella depressione è già sufficientemente accusata dalla orografia italiana. Secondo il Ponzi essa nasce sotto-mare nel Golfo di Genova, ma comincia a farsi nota sulla terra ferma colle bassure alluvionali della Toscana, alle foci dell'Arno. Di là guadagna le sabbie terziarie di Siena, rade il Monte Amiata, e, per Acquapendente e Viterbo, giunge a Roma: passa in seguito, per Frosinone e Ceprano, tra gli Appennini e gli Arunci, tocca Napoli, e di là si insinua tra i monti della Calabria e quelli di Otranto, terminando al mare nel golfo di Taranto. La descritta zona è seminata di rigonfiamenti, di colli, infine di monti vulcanici, figuranti essi pure una catena; ma se ci fosse permesso di demolire quella schiera di mucchi vulcanici, che si levarono fin quasi a 1000 metri sul livello del mare, di esportare quella massa sterminata di ceneri, di scorie, di lapilli, di lave, che formano quasi per intero i dominî di Roma e di Napoli; quale immensa depressione vaneggerebbe tra l'Appennino e le catene marittime! Noi spingeremmo di nuovo lo sguardo negli abissi spalancati, noi vedremmo quei vani tenebrosi, donde sorsero, in mezzo agli incendî reiterati, i mostruosi coni, che per secoli e secoli tuonarono minacciosi, e vedremmo, da quelle smisurate profondità, rinascere gli incendî dove ora sorridono i pacifici laghi, gli ameni colli di Bolsena, di Bracciano, di Viterbo, del Lazio, di Frosinone, di Pofi, del golfo di Napoli, del Volturno. Il Vesuvio è l'ultimo spiraglio, non ancora saldato di questa gola spaventosa, le cui labbra, ancora

sporgenti, sono l'Appennino e la catena interrotta, battuta dall'onda del Mediterraneo. Oh come ben si vedrebbe allora la falsità di quella teorica, che traeva i vulcani dai vertici squarciati dei monti!

375. Nulla di più vero, nulla di meno fantastico di quanto si è asserito: e si prova una specie di umiliazione, quando si pensa che, a fronte di fatti così palmari, che pur trovano un riscontro, come abbiamo visto (*Parte prima*, cap. XXX e specialmente § 903), col sistema di tutti i vulcani del globo, si sentisse bisogno di ricorrere all'ipotetico, per cavarne delle conclusioni diametralmente opposte all'universalità dei fatti. L'umiliazione poi cresce quando si trova che quelle conclusioni vennero ammesse, quasi senza discussione, dai geologi, che non pajono disposti a cessare così presto dal venirci a dire che i vulcani sollevano, e che le rocce eruttive hanno sollevato. La memoria del Ponzi fu pubblicata nel 1850, quando era un dogma la teoria de' crateri di sollevamento, e fu pubblicata nel repertorio geologico più diffuso in Europa. Chi ci badò?... Ma chi badò allo Scrope che, 25 anni prima, aveva combattuta, ancora non nata, la teoria dei *crateri di sollevamento*?

376. Diceva che il Ponzi, per la parte meccanica della teoria, ha questo vantaggio sullo Scrope, che parla di sollevamento in piani inclinati, non di curvatura degli strati, o, come si direbbe, di un rigonfiamento. La fig. 23 parla chiaro in proposito, e al vederla si direbbe, che lo Scrope non abbia saputo interamente liberarsi dal giogo di quella stessa teorica, che egli così strenuamente combatte. Riducendo le cose entro i termini più ragionevoli, rinunciando alle esagerazioni, alle ridicolezze a cui fu spinta da un vero fanatismo scientifico la teoria di L. de Buch, parmi che l'illustre geologo potrebbe dire al suo non meno illustre avversario: « eccovi nella vostra figura, in quel rigonfiamento, la *vescica vulcanica* tanto derisa, eccovi, con qualche modificazione, uno de' miei *crateri di sollevamento*. È vero che quel *cratere di sollevamento* non è punto destinato per voi a convertirsi in *cratere di eruzione*; ma infine la mia teorica non sarebbe andata troppo lungi dal vero, attribuendo la formazione delle montagne ad un rigonfiamento della crosta terrestre, avvenuto a modo di vescica, per effetto dell'azione vulcanica nell'interno.

377. A me pare che quel ripiegamento degli strati, il quale non è punto necessario alla produzione di un sollevamento, di uno spostamento qualunque, non faccia che complicare inutilmente la questione. Parendomi che la grande maggioranza dei fatti ci porti a riconoscere ne' ripiegamenti degli strati un semplice effetto di compressioni laterali, e come accidenti parziali delle grandi masse sollevate, prodotti non già dall'azione immediata dell'interno del globo contro l'esterno, ma dalla mutua reazione delle stesse masse sollevate o comunque poste in movimento; ho pensato se, per la produzione del sollevamento e dei fenomeni che ne dipendono, fosse veramente necessario quel rigonfiamento della crosta terrestre, che, almeno apparentemente, è la base della teoria di Scrope, considerata semplicemente dal lato meccanico. Non solo non ci scorsi necessità alcuna, ma trovai una certa ripugnanza ad ammettere che il fatto del ripiegamento realmente si verifichi. Trovo naturalissimo che una pila di strati, presa in mezzo dalla pressione orizzontale, in cui può trovarsi impegnata tutta, o in gran parte, la crosta terrestre, appena la potenza superi la resistenza, debba restringersi in sè stessa, quindi ripiegarsi, accartocciarsi, dando luogo a quei bizzarri contorcimenti, a quella serie di sinclinali e anticlinali, le quali, alternando a mille a mille nello spazio di qualche chilometro, sono ben lungi dall'accennare all'azione immediata della pressione interna. Questa, per la sua stessa profondità, non può agire che sopra grandi estensioni, e produrre quindi soltanto, quando pur si

Digitized by Google

producano, larghissimi archi di rigonfiamento. Ma non così facilmente intendo come tali archi di rigonfiamento possano realmente prodursi.

378. Supposta una forza di espansione nell'interno, questa non ha che a vincere il peso e la coesione della massa solida sovrapposta, per produrre una rottura. In tutte le esperienze che si possono istituire per osservare gli effetti prodotti dalla pressione sopra una massa solida e sensibilmente rigida, noi vediamo che la rottura previene il ripiegamento; si intende un ripiegamento che possa paragonarsi a quello che si verifica nelle sinclinali e nelle anticlinali, un ripiegamento sensibile, quale si ottiene soltanto colle sostanze veramente plastiche. Anzi finora non fu inventato un apparato, per ripiegare una tavola di pietra, per esempio di calcare compatto: e quando si riuscisse ad inventarlo, sarebbe sempre opponendo alla potenza una resistenza, che la roccia, per sè stessa, non oppone. Finchè la roccia sarà sola, come è nel caso della crosta terrestre compressa dal sotto in su, ad opporre resistenza, ella si romperà prima di piegarsi. Anche nelle esperienze accennate da Scrope a conforto della sua teoria, per esempio nella lastra di ghiaccio compressa con un piede, non si parla punto di ripiegamento, ma solo di fratture lineari, parallele. È un fatto certo questo, e nessuno me lo potrà negare, che il ripiegamento avviene in quanto non avviene la rottura. Qualunque corpo, anche il più elastico, cessa di ripiegarsi, nell'atto che succede la spezzatura. Ora, in tutte le esperienze sullo schiacciamento delle rocce, la rottura previene il ripiegamento. Perchè la pressione, che tende a schiacciare le rocce, agendo dal sotto in su, dovrebbe piegare prima di rompere? Ora che si attribuisce meritamente tanto valore ai risultati della geologia sperimentale, non si vorranno certo rifiutare per questa parte i risultati più sicuri della esperienza. Una porzione della crosta del globo, che sia sottomessa ad una forza che la prema dal sotto in su, è, nessuno vorrà negarlo, nelle condizioni di un solido che si sottopone alla pressione di una macchina costrutta per esperimentare la resistenza dei materiali. La macchina che si usa in tali esperimenti, non è infine che una leva, la quale sviluppa una forte pressione verticale sul materiale che si assoggetta all'esperimento. Ho assistito in questi giorni ad una serie di esperimenti eseguiti, allo scopo indicato, nel R. Istituto tecnico superiore di Milano. Fui lieto di poter sancire un fatto veramente cardinale per la teorica di cui ci occupiamo. Prescindendo dai mille accidenti che si verificano, dipendenti sopratutto dalla intima struttura delle rocce esperimentate, e che potrebbero, opportunamente studiati, tradursi in altrettanti principî applicabili alla geologia; il fatto principale e costante è questo, che i solidi compressi si rompono con un sistema di fratture lineari e parallele. Un cubo di marmo, per esempio, compresso dall'alto al basso, presenta un certo numero di fenditure lineari, parallele, verticali, su tutte e quattro le facce libere, rimanendo diviso in tanti prismi. Le linee di frattura sono tanto più rette, e il parallelismo tanto più esatto, quanto più il solido è omogeneo nella sua composizione. Un pezzo di vetro, per esempio, di figura approssimativamente cubica, si divise in un gran numero di parallelepipedi abbastanza regolari. Notansi poi sempre, in numero maggiore o minore, delle fenditure lineari, normali alle fenditure principali. L'esperienza ci autorizza dunque a conchiudere, che anche le fratture della crosta terrestre saranno lineari, parallele, e si produrranno per effetto della compressione dal sotto in su, anche senza che avvenga un ripiegamento.

379. Giova insistere su questo punto, poichè lo credo cardinale per la parte meccanica della teoria delle oscillazioni della crosta del globo. Qui sono da esaminarsi tre cose: 1.° se le linee di frattura del globo accusano realmente un sistema di rette

Digitized by Google

parallele; 2.° se tale sistema risponde alle cause, da noi ammesse, delle rotture e dei sollevamenti; 3.° se tale sistema non implica, anzi esclnda, la necessità di un ripiegamento.

Abbiamo già accennato all'ipotesi, che tentava di spiegare le grandi rotture della scorza terrestre, ammettendo la continua contrazione di essa scorza, per effetto del progressivo raffreddamento. Una volta dimostrato che questo raffreddamento non si verifica; che il calore centrale è perenne, anzi spesso in eccesso; che ad una certa profondità cessa ogni inflenza dell'esterno sulla interna temperatura; che gli squilibrî dell'interna temperatura trovano ragione nell'interno, non nell'esterno, l'ipotesi cadrebbe da sè. Ma un gran fatto serve, secondo me, ad atterrarla completamente. Il fatto è tanto palese, tanto universale, che i geologi dovettero colpirlo assai per tempo. Quanto difatti si scrisse sulla forma lineare e sul parallelismo dei grandi rilievi terrestri, delle zone vulcaniche, dei filoni, infine delle fessure della crosta terrestre e dei fenomeni tutti, che si collegano all'esistenza di esse fessure! Ora se addottiamo il principio, basato sulla universalità dei fatti e sulla invariabilità delle leggi fondamentali della natura, che il piccolo e il grande il vasto e l'angusto, il generale e il particolare, non hanno nessuna influenza sulla natura delle cause e sugli effetti che ne derivano, dovremo ammettere che le rotture della crosta terrestre dovrebbero, nell'ipotesi delle contrazioni per raffreddamento, presentare superficialmente, e internamente, la stessa forma, che ogni superficie, ogni massa, che si fenda per effetto di contrazione.

380. Ora è un fatto volgare, e di cui ci intratterremo più tardi parlando del clivaggio delle rocce, che la forma del sistema presentato invariabilmente dalle fessure, che si determinano in un solido che si contrae, sia per raffreddamento, sia per prosciugamento, è quella di una rete poligonale. La forma dei rilievi terrestri, e di tutti gli accidenti che si legano alle grandi fessure della crosta terrestre (depressioni, o valli, catene di monti, coste o limiti dei continenti, vulcani, terremoti, manifestazioni vulcaniche d'ogni genere), è ben lungi dal disegnare sopra un piano geografico una rete poligonale. È bensì vero che il signor E. de Beaumont si sforzò di dimostrare come i rilievi terrestri siano distribuiti sopra certe linee, che, prolungandosi, si intrecciano in guisa da formare una *rete pentagonale*, che allaccia il globo, quasi la rete che involge un pallone areostatico. Ma i geologi in genere cercarono codesta *rete pentagonale*, ma non seppero scorgerla. Nè io spero che sappiano scoprirla ora che il celebre geologo, nel grosso volume venuto alla luce or ora, riduce i progressi della geologia stratigrafica quasi a null'altro che ad una raccolta di fatti e di testimonianze in favore della sua teoria (E. de Beaumont, *Rapport sur les progrès de la géologie stratigraphique*). Nessun continente, nessuna isola che ci richiami una tal forma. L'ispezione delle carte geografiche, come i viaggi nelle regioni montuose, non possono che scolpirci quest'idea fondamentale, riguardo ai rilievi terrestri, che essi disegnano certi grandi sistemi di rette parallele, con cui si incrociano, ad angolo approssimativamente retto, dei rilievi molto minori per estensione e potenza. Di questo fatto abbiamo già toccato, quando dimostrammo come le rocce eruttive disegnino, non già sistemi centralizzati, ma sistemi allineati, paralleli (§ 20): e ci ritorneremo di nuovo più tardi, per non creare ingombro con una lunga citazione di fatti, al ragionamento che ci preme di condurre colla maggior chiarezza.

Osservando questi grandi sistemi di rilievi lineari, paralleli, retti o semiretti, si trova assai logico di assomigliare le fratture della crosta del globo a quelle di un solido, che si fende sotto uno sforzo di pressione che ne vinca la coesione.

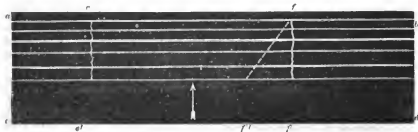
381. È rimarchevole, osserva lo Scrope (*Les volcans*, pag. 48), come le fratture dei solidi si appossimino al piano *rettilineo*. Le rotture di un velo di ghiaccio, per esempio, prodotte dalla pressione, si prolungano generalmente assai lontano, in linea retta, incrociate da qualche fessura trasversale, ugualmente rettilinea. Lo stesso avviene se il solido è stirato in guisa che deve o piegarsi, o rompersi, o per applicazione di una forza esterna, come nel caso che io prema, per esempio, col piede la crosta ghiacciata di uno stagno; o per forza che si sviluppi, colla reazione di una parte sull'altra, per lo squilibrio di una massa, come quando, per esempio, una lastra di ghiaccio è appoggiata in guisa, che una parte fa leva sull'altra, e tende a spezzarsi sul punto d'appoggio. Questo secondo caso è appunto presentato dai ghiacciai, i quali, per mio avviso, presentano già a grande scala, quanto di meglio valo ad illuminarci circa l'origine delle rotture del globo. Abbiamo già accennato come si formino quei formidabili crepacci, che incidono longitudinalmente i ghiacciai per interi chilometri (*Parte prima*, § 449). Le sponde rocciose della valle, ove si incassa il ghiacciajo, come buoni conduttori del calorico, ne sciolgono la parte a contatto. Specialmente d'estate scorgesi un largo vano tra il ghiaccio e le sponde, sicchè il ghiacciaio non si appoggia che sul fondo della valle. Le due enormi masse di ghiaccio laterali, che rimangono così sospese, agiscono come due poderosi bracci di leva sulla parte media che rappresenta il punto d'appoggio. La parte media, sotto l'impulso di quella doppia forza, si stira, quanto il consente la sua plasticità. Ma arriva un momento in cui la coesione è vinta, e si determina una crepatura. È una impressione che più non si cancella, quando l'imponente sillenzio di quegli orridi deserti è rotto d'un tratto quasi da uno scroscio di fulmine, che dura qualche secondo. Mentre il vostro udito accompagna quello scroscio, che passa rapidamente da un punto a un altro assai lontano, una scossa di terremoto ci passa rapidamente sotto i piedi: sembra in quell'istante che quella mole immensa si schianti, si sprofondi. Ma la crepatura che si produce in quell'atto è così capillare, che non so nemmeno se riuscireste a discernerla, e non credereste nemmeno che la formazione di una crepatura fosse la causa di quello scroscio, se cento altre, più o meno larghe, e tutte lunghissime, non vedeste già fendere il ghiacciajo in un gran sistema di liste, o meglio di valli e di rilievi paralleli. Se in luogo di uno stiramento esercitato da' fianchi sul mezzo del ghiacciajo, per mancanza di appoggio dei fianchi stessi, esistesse una forza, che lasciando riposati i fianchi, tendesse a sollevare, dal sotto in su, il mezzo del ghiacciajo; sarebbe ancora la resistenza dei fianchi, che reagisce sul mezzo, e la rottura avrebbe luogo ugualmente, ed allo stesso modo.

382. Io penso che un caso e l'altro si verifichi sovente per la crosta terrestre. Da una parte infatti abbiamo mille argomenti per credere, che parziali accumulamenti del calorico interno, portino una massa interna che dilatandosi, reagisca sulla crosta, e tenda a sollevarla: vediamo d'altra parte quante poderose eruzioni di fluidi elastici e di sostanze solide, debbano produrre dei vuoti, per cui una porzione della crosta reagisca sull'altra, e tenda a romperla. E si romperà davvero, quando la coesione della parte tesa non valga a far equilibrio alla forza, che produce la tensione. Le fessure che ne risulteranno saranno lineari e parallele, come sono lineari e parallele le fratture dei solidi. Ben inteso che le parole «fessure lineari» non si interpretino così letteralmente da escludere nel nostro sistema le spezzature o le curve. Anzi le curve, in genere però assai larghe, e approssimantisi alla retta, sono assai communemente la figura delle fratture dei solidi compatti ed omogenei, come si può verificare le mille volte nelle fratture delle vetriate, quando sopratutto avvengono

per la pressione esercitata dall'incastro, per qualunque ragione, disadatto: sono in pari tempo la figura più commune delle grandi catene, il cui asse presenta ordinariamente le forma, se mi è permessa l'espressione, di una retta serpeggiante. Tra i grandi rilievi le Alpi sono quelle che presentano una maggior deviazione dalla retta serpeggiante, disegnando una curva, molto sentita, come meglio diremo.

383. Ammesso che le rotture della crosta terrestre, prodotte dalla pressione esercitata dalle masse interne che si dilatano, avvengano approssimativamente secondo un sistema di rette parallele, come dimostrano l'esperienza e il fatto, vediamo come devono operarsi realmente i sollevamenti, le depressioni, e i diversi fenomeni concomitanti o conseguenti.

Suppongo una pila di strati orizzontali *a b c d*, rappresentante una porzione della crosta terrestre, soggetta ad una compressione dal basso all'alto, tale che vi determini le due rotture parallele *e e' f f'*. Ne suppongo due, per semplificare; ma se

Fig. 24.

fossero cento, quanto sta per ragionarsi, correrebbe ancor meglio. La forze di espansione che, come nella teorica di Scrope, è supposta agire dal sotto in su, e a preferenza determinarsi in un punto medio della linea *e' f'*, tende, dopo aver prodotto la rottura ed isolata la massa *e e' f f'*, a sollevare questa istessa massa, non rimanendole a vincerne che il peso. Non parlo delle irregolarità delle crepature, le quali, come appare dalla figura, potrebbero opporsi al libero movimento della massa centrale entro l'incastro delle masse laterali: non ne parlo, dico, perchè: 1.° la massa che subisce l'impulso dal basso all'alto, può essere cuneiforme, come nel caso che il suo lato sinistro si accostasse alla linea punteggiata *f f''*, e trovarvi liberissima uscita; 2.° perchè la spezzatura di una massa petrosa non avviene mai senza un distacco, talora molto considerevole, dei labbri della spezzatura stessa, dovuto allo stiramento, cioè all'allungamento della massa durante la compressione, ed al raccorciamento che sussegue immediatamente l'esito della compressione stessa. Osservate, come esempio, ciò che avviene della soglia di una porta, spezzata per la compressione delle spalle; 3.° perchè le salbande, gli enormi conglomerati di frizione che riempono gli interstizi dei salti, mostrano in effetto come la resistenza prodotta dalle irregolarità di piani di frattura, non impedisce nè punto nè poco il movimento delle masse rocciose, talora anche piccolissime, perchè la forza che sollecita esse masse è capace di togliere gli ostacoli, frantumando la roccia.

La massa centrale dunque si solleva ad una altezza proporzionata alla forza che

la spinge. Nella figura qui sotto si osserva la massa *e e' f f'*, sollevata al dissopra delle masse laterali.

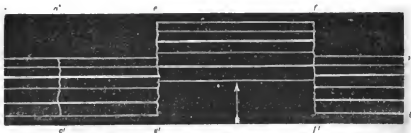



Fig. 25.

Le condizioni volute dalla teorica di Scrope si adempiono benissimo, senza alcun bisogno di supporre un ripiegamento, che non ha ragione di essere, e che non è punto in concordanza coi fatti. Cessa anche il bisogno di distinguere tra le *fessure dell'anticlinale* e le *fessure della sinclinale*. Suppongansi mille fessure, prodotte dalla rottura, con spostamento di una massa di strati sollevata, prodotte anche, se vuolsi, dalla rottura di una massa di strati, di cui una parte si deprima, in luogo di sollevarsi, o infine dalla rottura con spostamento di una massa di strati, di cui alcune parti si sollevino, altre si deprimano, altre rimangano al loro livello: sempre e poi sempre avremo delle fessure, che si aprono all'esterno alla base di un rilievo, dando sfogo ai vapori, ai gas, alle lave; formando stufe, fontane ardenti, salse, mofette, vulcani. Badate bene a ciò, che il processo immaginato dallo Scrope lo era principalmente per dar ragione del gran fatto che i vulcani sono aperti, non sulle vette, ma ai piedi dei rilievi del globo. Dovette quindi ragionare assai per dimostrare come i vulcani trovassero sfogo dalle rotture sinclinali, piuttosto che dalle anticlinali. Ma, per quanto le rotture sinclinali si trovassero in condizioni più favorevoli per aprire ai vulcani l'uscita, non si sapeva poi escludere la possibilità che la trovassero anche nelle rotture anticlinali. Noi invece non distinguiamo punto le fessure sinclinali dalle anticlinali, perchè non c'è nessun bisogno di distinguerle; crediamo le fessure tutte atte ugualmente a dare sfogo a un vulcano; e con tutto ciò i vulcani, sempre e invariabilmente, eromperanno alla base di un rilievo. La cosa si verificherà in questi termini per qualunque più complicato sistema di spostamenti e di fessure.

384. Infatti la regolarità e la semplicità espresse nel diagramma precedente, non possono essere che ipotetiche affatto. Anzi tutto è affatto probabile che non una nè due fratture lineari si determinino, ma molte, o contemporaneamente, o a brevi intervalli l'una dall'altra, come avviene delle grandi masse di ghiaccio sulle Alpi o ai poli, o nei solidi sottoposti alla macchina di compressione: di più è molto improbabile che una massa, come *e e' f f'* si sollevi in linea perfettamente verticale, conservando la sua orizzontalità: inoltre il sollevamento di essa massa, e la formazione delle fessure *e e'* e *f f'*, alleviando la tensione della massa interna, come abbiam detto, determinerà facilmente la caduta di una massa laterale. La figura seguente, co-

Digitized by Google

strutta cogli stessi elementi della precedente, presenta questi diversi casi possibili, nel supposto che, oltre la massa $e\ e'\ f\ f'$, si stacchi, come è espresso anche nella figura precedente, l'altra massa $a'\ c'\ e\ e'$.

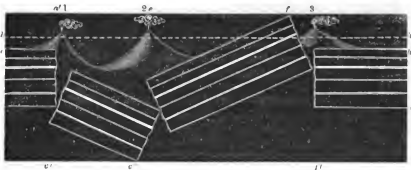



Fig. 26.

Il pezzo $a\ c\ a'\ c'$ è rimasto al suo posto: il pezzo $e\ e'\ f\ f'$ si è sollevato con un movimento di bilancia, si è cioè sollevato da una parte, abbassato dall'altra, precisamente come avvenne recentemente dell'isola Tongatoboo, nell'arcipelago degli Amici, che, in seguito ad un terremoto, si depresse sul lato nord est, in guisa che il mare occupolla per due miglia, sollevandosi sul lato ovest di parecchi piedi (Scrope, *Les volcans*, pag. 257).

Il pezzo $a'\ c'\ e\ e'$ si è spezzato in $a'\ c'$, e si è abbassato pure con movimento di bilancia.

Supposto che tutta l'estensione così tormentata formasse in origine un fondo marino, avremmo un vero sollevamento in f sul livello del mare $h\ h$. Le fessure formatesi potrebbero dar luogo al vulcano 3 alla base di un rilievo, come i vulcani d'America, sulle coste del Pacifico, ed ai vulcani 1, 2, sottomarini o insulari, come i vulcani dell'Atlantico.

Chiunque getti uno sguardo sulla figura precedente, non potrà negare che quella disposizione di masse stratificate gli richiami la forma dei mille spaccati reali, che presentano sì spesso le sponde verticali delle chiuse, cioè le parti visibili delle grandi spaccature terrestri, e meglio ancora le miniere dei minerali stratificati, specialmente quelle del carbon fossile. Non occorre quasi il dire che le fessure appajono in mille modi rappresentate nel fatto, dalle chiuse, dalle caverne, delle salbande, dai conglomerati di frizione, dalle vene, dai filoni, dai dicchi, finalmente dalle manifestazioni vulcaniche e dai vulcani ardenti sui limiti che separano i grandi rilievi dalle grandi depressioni del globo. Quando tutto ciò che di vero si rivela all'osservazione, tutto ciò che di veramente pratico risulta circa la disposizione delle masse dislocate, e circa i rapporti degli strati nelle masse, piccoli o grandi, d'origine interna, è affatto contrario, salvo forse qualche caso eccezionale, al concetto di un sollevamento per effetto di un rigonfiamento della crosta terrestre in uno o in altro punto, e di rotture avvenute come esito di tale rigonfiamento; si domanda meravigliati, come tale concetto abbia potuto soggiogare la scienza, in un secolo che si potrebbe chiamare il secolo della geologia pratica ed esperimentale.

Conchiudendo, per me il sollevamento delle montagne, la formazione delle depressioni, l'esistenza dei vulcani, e di tutte le manifestazioni vulcaniche, tutto si riduce ad un sistema di fratture della crosta del globo, ed allo spostamento multiforme delle parti isolate dalla frattura, per effetto della pressione interna, combinata colla forza centripeta.

385. Non parlammo però finora che di un solo sistema di rotture, quelle che si determinano nella direzione del sollevamento, per effetto immediato dell'interna pressione. Ma sarà difficile che un pezzo appena considerevole della crosta terrestre si sollevi, senza subire altre rotture, senza frantumarsi, e quindi senza che presenti sistemi di fratture divergenti dalla frattura principale. È cosa riconosciuta da lungo tempo che in una massa rigida, sopra tutto se poco coerente, che si screpoli, si determinano delle screpolature normali alla principale. Abbiamo anzi già accennato come ciò avvenga invariabilmente, e assai decisamente, nei pezzi sottoposti alla macchina di schiacciamento. Anche trattando i materiali più compatti, più omogenei, come i marmi unicolori e il vetro, si osserva sempre un sistema di fenditure orizzontali, esattamente normali alle verticali. Ne avverrà che la massa sollevata si divida in tanti poliedri, forse meglio si direbbe in tanti prismi, isolati, indipendenti l'un dall'altro, liberi di assecondare, ciascuno per proprio conto, l'impulso che le sollecita, perciò di deprimersi o di solleversi. I pezzi che si sollevano formeranno quindi altrettante montagne, o catene di montagne, separate l'una dall'altra da una spaccatura, normale all'asse del sollevamento, in fine da una chiusa (*Parte prima*, 389). Lo scritto che, forse, meglio d'ogni altro può darci un'idea veramente pratica del modo con cui si operano i sollevamenti delle grandi catene, e degli effetti che ne conseguono; è la *Lettera* del senatore Scarabelli-Gommi-Flaminj *sulla probabilità che il sollevamento delle Alpi siasi effettuato sopra una linea curva* (Firenze, 1866). In questo prezioso opuscolo le Alpi sono disegnate come iniziate originariamente da una intumescenza, da una increspatura, che si espandeva in linea curva, della forma presentata attualmente dall'asse delle Alpi. Il sollevamento alpino, che non è certo l'opera di un giorno, avveniva ad intermittenze, a riprese, e gli strati, spinti da una forza che li sospingeva, si fratturavano in grandi masse poliedriche, le quali rimanevano naturalmente a ridosso dell'asse di sollevamento, sia esteriormente, sia interiormente alla curva, che si andava modellando. Qui lo Scarabelli induce assai opportunamente il paragone di ciò che avviene, quando una talpa si apre a poca profondità il suo sotterraneo cammino. Noi vediamo allora nel verde delle zolle disegnarsi una linea bruna a zig-zag, cioè una crepatura lineare, talora assai lunga; ed il suolo, rialzato sopra un'augusta zona disegna due piani inclinati opposti. La zolla così sollevata, in guisa da formare un prisma lineare, è tutta screpolata, divisa in zollettine, per un sistema innumerevole di fessure perpendicolari, in genere, alla crepatura principale. Le Alpi presentano tale sistema in grande; i grandi pezzi poligonali, ossia i monti e le catene, disegnano una curva, la curva alpina a tutti nota; ma in luogo d'una curva regolare abbiamo una curva a zig-zag, quali devono disegnarla i labbri d'una spaccatura lineare, o retta o curva, che si dividano in pezzi poligonali, che si sollevino irregolarmente. Alla spezzatura delle masse poliedriche corrisponderanno fessure lineari, ossia valli di chiusa, normali alla grande frattura. Ne' miei *Studi geologici e paleontologici sulla Lombardia* (Milano 1857), io aveva già chiamato l'attenzione sopra il singolare parallelismo delle valli lombarde, il cui asse era normale a quella porzione dell'asse alpino da cui esse si dipartono. Lo Scarabelli generalizza quest'osser-

Digitized by Google

vazione, mostrando come il parallelismo si verifichi per tutte le valli alpine ed appennine; e siccome le Alpi, continuandosi coll'Appennino (cho io credo per altro formare un tutt'altro sistema di sollevamento) descrivono una vera semielisse, così le valli alpine ed appennine, tenendosi normali alla linea elissoidale, vengono tutte nell'interno a sboccare nella valle del Po, la quale descrive approssimativamente l'asse maggiore dell'elisse. La carta unita alla memoria dello Scarabelli mostra di più come il rilievo sia dell'Alpi, sia dell'Appennino, disegni un deciso zig-zag, cioè qnella forma che affettano ordinariamente le screpolature delle muraglie, che cedono sotto una pressione, e che presenterebbero tutte le masse solide poco omogenee, ove l'andamento delle fessure deve essere modificato da mille incontri di resistenze di diverso grado, sicchè, in luogo di una linea retta, che risponda alla direzione di una forza unica che incontra ovunque una uguale resistenza, avremo una linea, che è la risultante della forza unica che supera in diversi punti diverse resistenze.

Aggiungasi che la forma a zig-zag, disegnata ordinariamente dalle creste di una catena, non si deve soltanto ad un serpeggiamento della linea di frattura, ma anche allo spostamento diverso delle masse, rimaste libere sui lati della fessura, che possono quindi o sollevarsi, o deprimersi, di modo che il rilievo può alternare or sull'uno, or sull'altro lato. Un esempio serva di schiarimento.

Abbiamo veduto come la Nuova Zelanda consti di due isole, la meridionale e la settentrionale, formanti un solo rilievo, una sola catena lineare, divisa in due porzioni da una depressione, che è lo stretto di Cook (§ 296, 297). Abbiamo veduto come i vulcani si allineano alla base di quel rilievo, in guisa però che la porzione meridionale n'è fiancheggiata a est, mentre la settentrionale lo è ad ovest. Come si spiega questa singolarità? Se non fosse pericoloso sempre l'aggiungere qualche cosa di proprio, parlandosi di fatti non visti da sè, direi che la spiegazione ne è semplicissima. Suppongasi originariamente una fessura lineare, lunga quanto è lunga la catena nuovo-zelandese complessivamente. Le masse, formanti i labbri della fessura, siano libere di moversi, al modo che abbiamo spiegato, cioè di ascendere o di discendere, e la porzione settentrionale sia resa indipendente dalla meridionale, per via di una frattura trasversale alla fessura principale. Supponiamo ora che sia il labbro occidentale che si elevi sulla porzione meridionale, e il labbro orientale invece che si alzi sulla porzione settentrionale. Avremo un rilievo sulla stessa linea, ma ripartito in due, e la stessa fessura si aprirà tanto alla base del rilievo meridionale, quanto alla base del rilievo settentrionale, ma ad est del primo, ad ovest del secondo. I vulcani eromperanno per conseguenza al piede di tutto il rilievo, ma ad est della metà meridionale, ad ovest della metà settentrionale di esso. Avremo poi, tra le due porzioni del rilievo, una depressione, quale risponde, nel caso pratico, allo stretto di Coock.

386. Resta ancora a vedersi qual parte noi assegniamo, nella teorica esposta, alla pressione orizzontale, che l'ha così importante nel sistema di Scrope. Tolto alla pressione laterale o orizzontale l'ufficio di suggellare le *fessure dell'anticlinale*, perchè reso inutile, dal momento che si nega la necessità di un rigonfiamento della crosta sollevata, non si vuol punto sconoscere la parte importantissima che ella deve rappresentare in quelle imponenti rivoluzioni, destinate a rimutare, con perpetua vicenda, le terre e i mari.

La pressione orizzontale si riconoscerà importantissima, considerata sotto due punti di vista: 1.° come quella che produce il definitivo equilibrio delle masse spostate; 2.° come la causa del fenomeno così grandioso, così universale, della contorsione degli strati.

Digitized by Google

La pressione orizzontale, agendo come forza continua, non potrà impedire il movimento delle masse, finchè sia vinta dalla pressione interna; ma appena questa cessi o diminuisca in debite proporzioni, la pressione orizzontale, rimasta signora del campo, è quella che arresta il movimento delle masse, che tende a suggellare le squarciature, a ripristinare l'equilibrio. Ma qui non si arresta la sua azione. Le masse poste in movimento dalla pressione interna, spostate dal loro primitivo equilibrio, cercanti poi nuove condizioni d'equilibrio, dovranno, chiuse entro una specie di gigantesco strettojo sopportare la pressione delle masse adjacenti, e reagire alla lor vôlta contr'esse. Ognuno vede in quali condizioni si trovi la crosta del globo, sia durante l'azione interna, che tende a scomporla, sia quando questa è cessata. Quando si consideri, come tutta la crosta terrestre è necessariamente impegnata, sia nello squilibrio che si produce, sia nel nuovo equilibrio che si stabilisce, e corona una delle sue grandi rivoluzioni, non si troverà strano che, tanto le masse strette, come quelle che servono di strettojo, sieno in mille modi guaste, ammaccate, stritolate, stirate, laminate, ripiegate, contorte. In attesa di calcoli, non ancora instituiti in proposito, sta intanto in fatto, che le masse stratificate si mostrano, così sovente, e in modo così meraviglioso, ripegate e contorte. Tali ripiegamenti sono causa alla lor volta di rilievi e di depressioni; ma questi rilievi, queste depressioni, non sono che accidenti delle grandi masse o sollevate o depresse; sono parziali rilievi, parziali depressioni prodotte dalla *pressione orizzontale*; sono parziali rilievi e parziali depressioni, in cui si scompogono, per così esprimermi, i grandi rilievi, le grandi depressioni, causati dalla pressione verticale.

387. Per spiegarmi con un esempio, che non è nuovo poi geologi pratici, l'Europa potrebbe figurare come un grande rilievo, prodotto dalla *pressione verticale* collo spostamento di una vasta porzione della crosta terrestre; le Alpi figurebbero come il punto culminante di questo gigantesco sollevamento; il Giura come una massa laterale, pigiata e foggiata in cento pieghe parallele delle Alpi, per effetto della *pressione orizzontale*; le Alpi stesse sarebbero, per mutua reazione, in mille guise ripiegate e contorte. I vulcani attivi, o recenti, delle regioni dell'Atlantico, del mare del Nord, del Mediterraneo che segnano, in certa guisa, il perimetro dell'Europa, rendono evidente un sistema di fessure, aperto alla base di questo grande rilievo, prodotto certamente a riprese, a intermittenze, risultato di un recente, ma lungo lavoro, delle forze tutte interne ed esterne.

388. Gli studî sugli strati della Pensilvania e della Virginia, pubblicati da Rogers, nel 1842, hanno, secondo Dana (*Manual*, pag. 719), dimostrato, che negli Appalachian, come sul globo in generale, i gruppi di strati inclinati non sono che porzione di formazioni ripiegate. Prevalse dunque, in genere, una forza laterale: a cui si deve, la preferenza, attribuire la formazione di quelle anticlinali e sinclinali, che ebbero per consegnenza il rilievo attuale del globo.

Talora invece è per via di rottura, e consegnentemente di salti, che le formazioni furono spostate; come si osserva nel sud Virginia e nel nord Alabama. Dana ne produce un bellissimo esempio. Nella Virginia del sud, mediante un salto obliquo, il subcarbonifero è disceso sotto il siluriano inferiore. In questo caso io penso che abbia prevalso un'azione nel senso verticale.

389. Il parallelismo di parecchie catene, costituite da altrettanti anticlinali, è quanto v'ha di meglio per dimostrare che la formazione dei grandi rilievi ebbe luogo in più casi per spinta laterale. Le catene ondulate del Giura formano uno stupendo sistema, di pieghe parallele fra loro, e parellele all'asse delle Alpi, in guisa tale che si

Digitized by Google

direbbe dipingano al vivo un increspamento di quella parte della crosta terrestre prodotto dalla spinta laterale impressa dalle Alpi sollevantisi. Tale è appunto l'opinione di Scrope, di Desor, ecc. Le Ande e l'Himalaya offrono esempî analoghi. Le Cordiliere del Chilì presentano ciò che direbbesi un Giura a scala gigantesca, cioè almeno otto catene, secondo Darwin, parallele e anticlinali, alte ciascnna almeno qnanto l'Etna. Il capitano Strachey dipinge l'Himalaya come nn gran sistema di rilievi paralleli, ove le grandi sommità assiali constano di rocce granitiche, rimanendo le formazioni schistose e stratificate ributtate sui fianchi (Scrope, *Les volcans*, pag. 291).

390. Del resto le forme stratigrafiche, considerate principalmente nelle loro minime accidentalità, depongono in favore di spinte laterali, rette od oblique, piuttosto che di spinte verticali. Prescindendo dagli strati orizzontali, o a semplici piani inclinati, le forme stratigrafiche si riducono in fine a continue alternanze di curve sinclinali e anticlinali. Talora, piuttosto che di curve, trattasi di ripiegature angolose a zig-zag. Queste ripiegature, curve od angolose, si ripetono le cento volte sopra brevissimo spazio, fino al punto che la roccia è tutta pieghettata, centimetro per centimetro, a guisa di gorgiera increspata a canoncini, e per lo spessore di centinaja di metri. Ciò si verifica specialmente per gli schisti antichi argillosi, talcosi, minacei. Qui certo non si può sognare una forza che agisca dal sotto in su, formando tanti sollevamenti, quante sono le pieghettature; mentre il tutto corrisponde così bene alle esperienze semplicissime di Hall. Queste consistono semplicemente nel preparare una pila di fogli di carta o di stoffa, poi sovrapporvi un peso, per esempio, un grosso volume, quindi comprimere lateralmente la pila. Si vedrà allora come le testate di que' sottilissimi strati presentino un sistema di pieghettature sinclinali ed anticlinali, le quali riproducono, salve le proporzioni, tanto il pieghettamento degli schisti, quanto il sistema graudioso di sinclinali ed anticlinali, che costituisce, per esempio, l'altipiano ondulato, ossia la vasta catena del Giura. Per ripetere senza disturbo le esperienze di Hall, pigliatevi un volume rilegato, e tenetelo chiuso colla sinistra, mentre colla destra pigierete contro il dorso del libro le pagine di esso. Voi vedrete come esse pagine presentino nna serie di sinclinali ed anticlinali. Se voi pigiate ancora più forte, le sinclinali e le anticlinali assumeranno una forma stratigrafica, che vi è già ben nota (*Parte prima*, § 330), quella degli *strati a C*, che io ritengo la prova più parlante del fatto che le curve in genere dipendono da forze laterali, principalmente da forze laterali oblique. Anche qui ricorrete a questa esperienza semplicissima. Prendete nn fascicolo di carta alle dne estremità, e tenendo ferma una mano, avvicinate l'altra, seguendo una liuea obliqna all' orizzonte, diretta dal basso all' alto, come è mostrato dalla freccia nel diagramma. Fig. 27. Il fascicolo di carta dapprima si piega, formando nna anticlinale, il cui asse è normale all' orizzonte; poi l'anticlinale

Fig. 27.

si rovescia, in guisa che l'asse diviene obliquo, poi parallelo all'orizzonte, e vi presenterà un sistema di *strati a C*, sinclinali ed anticlinali, che riproduce esattamente uno degli accidenti più communi della stratigrafia alpina.

Se volete un sistema, direi grandioso, di curve d'ogni forma, non avete che ad arricciare il tappeto che copre una tavola, sfregandolo colla mano in una direzione qualunque. Quanti begli esempî di tali ripiegamenti offrono ovunque le nostre montagne!

Per sceglierne uno tra i mille, eccovene un saggio offerto dagli strati raibeliani (*Parte prima*, § 744) nella valle del Fella, cui debbo alla gentilezza del mio amico Taramelli.

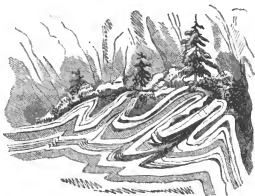



Fig. 28. — Ripiegamento degli strati nella valle del Fella.

391. Se le catene anticlinali, parallele, rendono così evidente quella spinta laterale, orizzontale, che compresse e ripiegò una massa qualunque; altre forme orografiche non lasciano di conciliarsi assai bene col supposto di un sollevamento, determinato nella stessa guisa. Il ripiegamento delle masse, e per effetto di una compressione laterale, sarà tanto più perfetta, quando più la massa compressa sia plastica, e la compressione veramente orizzontale, e trasmessa colla debita lentezza e regolarità. Un difetto nelle tre accennate condizioni porterà una deviazione da quel tipo di rilievo a pieghe parallele anticlinali, che può essere, per esempio, rappresentato dal Giura. Se le masse sono soverchiamente rigide, si spezzeranno, invece di piegarsi. L'effetto della trasmissione orizzontale sopra una massa rigida, secondo Scrope, è quella di romperla per fessure verticali. Ciò vuolsi intendere dei piani di rottura, che discendono di fatti verticalmente, mentre le linee di frattura superficiali appajono orizzontali e parallele. È sempre il caso che si verifica nello schiacciamento dei solidi; ove la pressione essendo verticale, i piani di frattura si internano orizzontalmente. Avremo dunque ancora una massa divisa in un certo numero di pezzi. È noto, continua Scrope, che masse separate, a contatto, sottomesse ad una pressione, obliqua alla superficie resistente, tendono a spostarsi, per scivolamento di una sull'altra delle due superficie di contatto. Avremo dunque facilmente, in luogo di pieghe anticlinali, una serie di creste, determinate da altrettanti salti. Scrope

cita ad esempio le Cevenne, immensa piattaforma di strati orizzontali, cretacei e oolitici, tagliate da crepature angnste e complicate, della profondità di 300 metri, separate in masse terminanti a picco.

Quando si pensa alla infinita possibile variabilità degli elementi, che possono modificare l'esito di un fenomeno totalmente meccanico; alle infinite gradazioni nella rigidità delle rocce diversamente associate, sovrapposte, ecc.; alle infinite gradazioni di direzione, di intensità, di rapidità o lentezza, continuità o intermittenza, della forza applicata; alle complicazioni tra le forze sollevanti, e la forza di gravità, che sollecita senza intermissione le masse spostate o da spostarsi; si troveranno difficili, se non impossibili, quando non siano anche superflue, la spiegazione e la classificazione di tutte le accidentalità orografiche, mentre riesce pur facile lo spiegarne i tratti generali, per una forza applicata, secondo i casi, o orizzontalmente, o verticalmente, o obliquamente.

392. Resta una objezione, che potrebbe trascurarsi, tanto è leggera, se lo scioglierla non dovesse servire a mettere in maggior luce alcuni fenomeni importantissimi. Mi si potrebbe domandare: se la pressione orizzontale, che, in unione alla forza centripeta, tende ad accostare le masse spostate, in guisa che le loro superficie di contatto rimangano levigate, e gli strati che le compongono siano costretti a ripiegarsi, a contorcersi; mi si potrebbe, dico, domandare se la pressione orizzontale non debba suggellare le fessure così ermeticamente, che rimanga interamente intercettata ogni communicazione tra l'interno e l'esterno. Il suggellamento avviene certamente, e quanto si può dire vigoroso; ma come avviene d'una rovina, presa, per dir così, a volo entro una gora. Vi saranno quindi mille punti di contatto, pei quali si eserciti qualunque pressione, qualunque reazione sui lati: ma vi saranno in pari tempo mille pertugi, per cui trovano libero sfogo i fluidi elastici, e le sostanze interne, che essi traggono seco dall' interno all' esterno. Le più domestiche esperienze vi avranno insegnato quanto sia difficile gettare entro un tubo, entro un condotto, un mucchio di frantumi, anche minutissimi in confronto della luce del tubo, senza che il tubo stesso si intoppi, senza che i frantumi vi rimangano sospesi a mezza via, formando una massa pigiata in guisa, che il romperla esige sforzi grandissimi, mentre pure non cessa di presentare tutta la porosità, la permeabilità propria di qualunque massa composta di frantumi irregolari.

393. L' esempio più singolare che si possa citare è quello che forse alcuni di voi avranno potuto ammirare al santuario di S. Caterina del Sasso, così chiamato appunto per lo straordinario fenomeno ch' esso presenta. Il santuario di Santa Caterina sorge a fior d'acqua, sulla sponda orientale del Lago Maggiore, a poche miglia a sud di Laveno, al piede di una formidabile parete calcarea, alta forse un centinajo di metri, verticale, anzi, in parte, surpiombante al santuario. Una frana di quattro o cinque grossi massi, oltre altri minori, staccatasi dalla rupe, rovesciossi sopra una cappella laterale, costrutta a vôlta di mattoni, d'apparenza assai debole. La vôlta rimase sfondata nel mezzo, non rimanendone che una cornice all' ingiro, anch' essa fratturata. Il masso più voluminoso, di forse due metri di diametro, sfondata la vôlta, penetrovvi per quasi tutta la sua lunghezza; ma, presto a toccar terra, arrestossi, e là stassi ancora in oggi, sospeso in aria formidabilmente. Il fenomeno è tanto meraviglioso, che ancora attualmente è creduto miracolo. Chi visita quel luogo, anche dopo avere esaminato attentamente il fenomeno, non sa comprendere come quella vôlta abbia in tal guisa resistito a tanto urto, come pochi punti di contatto delle rupi coi mattoni spezzati bastino a tener sospesa quella gravissima mole, e più come

abbiano bastato ad arrestarla nella foga della caduta. Ma ammesso che quella vôlta, così sconquassata, possa resistere, perchè resiste di fatto, le condizioni di equilibrio si trovano del resto rispettatissime.

Esso è stabilito dal più bizzarro contrasto del masso principale, contro due o tre massi minori, e di questi contro i mattoni della vôlta. La vôlta spezzata, salvo i pochi punti di contatto, vaneggia ovunque all' ingiro. Da quel luogo intanto si parte colla convinzione:

1.° Che non v'ha stranezza di combinazione, che non possa ammettersi, come causa d'equilibrio di masse irregolari disgiunte, e quindi accostate da una mutua reazione, come è il caso delle grandi masse telluriche, sollevate dalla forza d'espansione interna, o depresse per forza di gravità, quindi a vicenda equilibrantisi, per vicendevole contrasto, causato dalle forze associate della gravità e della pressione orizzontale.

2.° Che l'equilibrio ristabilito dalle masse spostate non osta per nulla alla permanenza delle fessure, prodotte dallo spostamento.

894. Aggiungerò come la disposizione, sia delle antiche rocce eruttive, sia dei vulcani attuali, e tutto infine il sistema delle manifestazioni vulcaniche, rivelino, come meglio non si potrebbe, quel sistema di discontinuità e di contatti, di fessure, o di saldature che si avrebbero appunto nel caso che un solido, diviso e spostato in masse irregolari, venisse a ricostruirsi in qualche modo, per effetto di una pressione, che riaccostasse le parti. Abbiamo veduto, come le masse eruttive, del pari che i vulcani attuali, siano distribuite in serie lineari, attestanti appunto un sistema di fratture lineari. Abbiamo veduto come le linee dei vulcani attuali si verifichino appunto sui limiti tra i grandi rilievi e le grandi depressioni del globo, disegnino cioè, in senso largo, il perimetro degli attuali continenti (*Parte prima*, Cap. XXXI); abbiamo veduto come sulla linea dei vulcani, o lateralmente ad essi, si presentino sopra larga zona le manifestazioni secondarie dell'attività vulcanica, le emanazioni gazose, le salse, le sorgenti minerali e termali (*Parte prima*, Cap. XXXII). Ma le rocce eruttive sono distribuite in masse isolate, succedentisi o aggruppantisi ad intervalli, cioè, adoperando l'espressione francese, a rosario (*en chapelet*) e i vulcani si succedono e si aggruppano pure ad intervalli, talora molto riguardevoli. Le masse eruttive, come i vulcani, indicherebbero le fessure, come gl'intervalli indicano i contatti. Così resta diminuito assai il valore della obiezione, già per altre ragioni infermata, contro la vera origine dei vulcani, tolta dal fatto della discontinuità delle linee vulcaniche. (*Parte prima*, §§ 902-904). I molteplici vani, lasciati dalle molteplici irregolarità, le fessure prodotte dal cozzo delle masse, diramandosi verso i lati e sempre più ramificandosi e assottigliandosi, mano mano che si allontanano dalla fessura principale, potranno, se larghe a sufficienza, permettere a lungo libero sfogo alle masse minerali, schizzate dalla forza espansiva dei vapori, e tradursi in vulcani: le più anguste invece saranno in breve ostrutte dal consolidamento delle masse iniettate e si trasformeranno in dicchi, rimanendo però ancora una rete di altre più piccole fessure, le quali daranno passaggio soltanto a sostanze volatilizzate, capaci di sublimarsi, a vapori, a gaz, ed anche semplicemente all'eccessiva temperatura, ed avremo filoni, vene, emanazioni gazzose, salse, petrolii, sorgenti minerali e termali. E tutti questi fenomeni saranno distribuiti sopra la zona di frattura, e tanto più fitti, quanto più prossimi alla frattura principale, indiziata dalle linee dei vulcani. Nell'interno, ove ferve continua la vita degli elementi, avranno luogo sviluppi continui di vapori e di gas, capaci di produrre degli urti sotterranei, tanto più sentiti,

Digitized by Google

quanto è meno sicuro il sistema che loro si oppone dove tutto si regge per mutuo contrasto di masse irregolari, a imperfettissimo contatto, in un sistema, diremo, di equilibrio provvisorio. Quindi, a intervalli, nuove fessure, nuovi spostamenti, per cui la zona delle manifestazioni vulcaniche sarà pure la zona dei terremoti.

395. Il concetto di una forza espansiva che rompe e sposta la crosta terrestre ; le cadute e gli urti delle masse che ne conseguono; le similitudini adoperate di una massa di frantumi che ingorga un condotto, di una frana che si arresta nella sua caduta ecc.; non devono indurci a credere, che tutto questo affare di sollevamenti , di fratture , di scoscendimenti, sia la catastrofe d'un momento, sicchè invalga di nuovo l'idea, già così diffusa ed accetta, di quelle istantanee e universali rivoluzioni, alternanti con lunghi intervalli di riposo, idea che si trova in opposizione colla universalità dei fatti. La lentezza dell'azione non cambia la natura , e non menoma l'importanza degli effetti. La dilatazione della massa interna può essere lentissima; lentissimo quindi lo sviluppo della sua reazione contro la scorza del globo. Le fessure possono essere inizialmente capillari, allargarsi poi con estrema lentezza; lentamente può quindi sollevarsi quella massa, che è rimasta libera per effetto della frattura. Quando si consideri l'enorme spessore della crosta del globo, non pare che una eruzione di sostanze solide possa avvenire finchè il sollevamento e lo spostamento non siano già molto avanzati. Ci vorrà quindi lunga stagione di emanazioni e di eruzioni, perchè si diminuisca l'interna tensione, e si faccia un vuoto sufficiente, perchè una massa laterale scoscenda. Lo stesso scoscendimento può avvenire per gradi, e a lunghi intervalli. La *pressione orizzontale* dovrà essere immane, ma applicata lentamente, per lunghissimo tempo, perchè le immense pile degli strati si pieghino, si contorcano, senza rompersi. Infine tutto può avvenire, ed è sicuramente avvenuto, con quella lentezza , che il numero infinito degli strati sovrapposti e meravigliosamente istoriati dalle piante e dagli animali, ci attesta. Anche le fessure di un ghiacciajo , esito repentino di una lenta tensione, sono dapprima impercettibili; si allargano poi lentamente, fino a divenire altrettante voragini.

Il ghiacciajo stesso si muove, rompe, ottunde le rocce; ma tutto lentamente, quasi impercettibilmente. Vi accadrà forse una sol volta in un giorno di udire uno di quegli scrosci, che accusa la formazione di una fessura: ma il moto del ghiacciajo è continuo, e continuo il suo lavoro. In una casa, che ha deboli fondamenta, le muraglie si screpolano, le vôlte si rompono, le soglie si spezzano; ma l'uso del suggellamento delle fessure, per vedere se il processo dello sfasciamento continua, accusa la lentezza di questo formidabile lavoro, che può finire colla demolizione dell' edificio. In una galleria di carbon fossile o di lignite il pauroso scricchiolio del legname, che ne forma l'armatura, vi avverte che tutto là si move e minaccia; l'occhio nulla scorge; solo dopo settimane e mesi voi mirate curvi ad arco , o spezzati i sostegni, il suolo della galleria alzato, la galleria stessa ostrutta, senza scoscendimento. Così si formano lentamente i celebri *creeps* (*Parte seconda*, § 348) che rappresentano così fedelmente tutto il complesso di quegli accidenti stratigrafici , nei quali noi studiamo l' azione delle forze endogene sulla crosta del globo.

396. Non considerate gli effetti soltanto in proporzione della rapidità e della violenza con cui opera un agente; ma considerateli anche in proporzione della potenza dell'agente, benchè operi con lentezza. Troverete allora che le grandi rivoluzioni telluriche hanno qualche cosa di ben grandioso, in proporzione della piccolezza nostra; ma rientrano nella categoria dei fatti più semplici, più ordinarî, in proporzione colla grandiosità delle cause.

13

Rompete il velo di ghiaccio, che si stende sopra uno stagno, in modo però che nessun frammento nemmeno si sposti. Ancor perfetto è il livello dello stagno; qualche goccia d'acqua soltanto s'è injettata nelle crepature e si è diffusa sul ghiaccio; la crosta di nuova rassoda, e giace ancora distesa sul levigatissimo piano; ma, di liscia che era, s'è fatta scabrosa, irta di rughe. Se lo stesso far si potesse col fitto velo, dello sessore di molti chilometri, che involge la terra, le rughe diverrebbero monti e catene di monti. Vi sono due similitudini, predilette dai geologi trattatisti. Quando arlano dell'esigno spessore della scorza del globo, non dimenticano mai di paragonarla, alla pellicola d'uovo. E se vengono a discorrere del valore proporzionale dei rilievi di questa scorza, non dimenticheranno mai le classiche rugosità dell'arancio, Ma poi dimenticano facilmente il valore di tali similitudini, e si direbbe che o scambiano il paragone colla realtà o danno a questa un valore troppo sproporzionato a quello.

A sentire il celebre De Buch gridare usciti dalle viscere della terra quegli *hornitos*, sparsi a continaja, come mucchi di fieno, sopra pochi chilometri di superficie, non si direbbe che ha scambiato veramente la crosta del globo per una pellicola d'un uovo? Nè di molto ingrossò la pellicola, quando suppose, allo stesso modo degli *hornitos*, sollevati i monti o le catene di monti. Quando poi, per ripiegamento dal sotto in su, per rigonfiamento a modo di vescica si vogliono sollevati gli strati di 20°, 40°, 90° sull'orizzonte, non si pensa che avremmo ben altro che le rugosità dell'arancio. Ed è questo il difetto che io ho rimproverato anche alla teorica di Scrope (§ 376).

Supposta integra e nella sua orizzontabilità la crosta del globo, se io volessi produrre un incurvamento, un rigonfiamento, premendo dal sotto in su, io non posso, stante l'adesione delle molecole, spostarne una parte (si intende senza spezzarla, perchè quando avvenga le spezzatura, non è più possibile un ripiegamento nel nostro senso) senza che le parti circostanti consentano al moto, e si sollevino in guisa, che si formi un cono di sollevamento, il cui vertice sarà il punto ove maggiore è la pressione. Questo cono sarà tanto più largo, in proporzione dell'altezza, quanto più spessa e più rigida e tesa è la massa che si gonfia. Se io sospingo con un dito, in un punto centrale, una tela ben tesa sopra un telajo, vedrò formarsi un cono, il cui diametro alla base misurerà almeno cento volte l'altezza. Se invece di una tela, esercito una sufficente pressione sotto un robusto assito, non potrò piegarlo pel valore di un centimetro, senza che tutto l'assito non consenta a quel moto. Ciò vuol dire che, se giungessi a piegare una tavola lapidea, dello spessore di 20 a 40 chilometri, rigonfiandola di qualche metro, il rilievo che ne risulterebbe, per consenso delle parti laterali, sarebbe così vasto, che mal si terrebbe entro i limiti di un continente. Supponiamo ora che il continente europeo fosse sollevato, per forza di un rigonfiamento di un'area equivalente della crosta terrestre. È evidente che l'altezza del rilievo sarà proporzionale all'angolo che gli strati, sollevandosi, fanno coll'orizzonte.

397. Diamo all'Europa, così sollevata per rigonfiamento, la figura di un segmento di sfera, o, per semplificare, la figura di un cono, che abbia 4000 chilometri di diametro alla base, o una elevazione di 6000 metri al vertice. Noi avremmo già superata d'assai la massima altezza d'Europa, quella del monte Bianco che è di 4810 metri. Eppure quale sarebbe l'angolo d'inclinazione degli strati sollevati? Non segnerebbe che una frazione di grado, cioè farebbero coll'orizzonte un angolo di 0°,10. Noi li diremmo dunque perfettamente orizzontali, e tanto orizzontali, come non lo è forse nessuna pianura, nessuno strato marino de'più regolari. Se vogliamo agli strati sollevati attribuire un'inclinazione di soli 15.°, il rilievo vanterebbe già la smisurata al-

Digitized by Google

tezza di 535 chilometri. Elevando gli strati fino ad avere l'inclinazione di 25°, di 50°, con un rigonfiamento di un'area pari all'Europa, s'andrebbe alle stelle.

Non si può dunque conciliare la vastità del rilievi terrestri colla loro piccolissima elevazione, nè questa colle considerevoli inclinazioni degli strati, se non ammettendo che i rilievi si formino per semplice spostamento delle masse fratturate, le quali possono limitarsi ad aree piccolissime, e che i ripiegamenti degli strati siano il risultato della pressione laterale, la quale si esercita sulle stesse masse spostate.

598. Del resto stiamo una buona volta ai fatti. Prescindendo dalle montagne vulcaniche, la cui forma è quella che assume un mucchio qualunque di sostanze incoerenti, eruttate verticalmente da un orifizio, v'è egli nelle montagne, nelle catene, nelle isole, nei continenti, qualche cosa che richiami la forma di un cono, prodotto dal rigonfiamento di una superficie piana? Qualche cosa che risponda all'idea di una eminenza centrale, da cui si dipartano, discendendo all'ingiro, eguali pendî? Bisognerebbe esser digiuni affatto di geografia, non sapere interpretare nemmeno grossolanamente una carta geografica, per digerirsi l'idea che i rilievi del globo dipendano dal rigonfiamento della sua scorza. Togliete lo sfasciume accumulato, che investe di *talus* più o meno morbidi le falde e i fianchi delle montagne, togliete le alluvioni, che colmarono le valli, o distesero in facili pianure i lembi dei continenti; quali forme assumerebbero i rilievi continentali? Coste a picco sul mare; valli chiuse tra verticali pareti; altipiani portati su verticali muraglie; piani inclinati che offrono un pendio da una parte, un precipizio dall'altra; catene di monti posti in fila su lunghissime linee, non distribuite in circolo intorno a un punto centrale. Sono queste le forme elementari dei grandi rilievi del globo che, o navigando i mari, o attraversando i continenti, riscontra l'osservatore, che sa distinguere i grandi tratti delle masse rilevate dalle accidentalità che affettano le stesse grandi masse, e si debbono, non già al sollevamento immediato di esse, per effetto dell'interna espansione, ma ad altre cause che agirono o contemporaneamente o posteriormente; alla pressione laterale, che produsse i ripiegamenti, o all'erosione che, degradando i monti, diede origine ai pendî ed alle pianure. Chi pensasse di studiar il globo entro la morbida piega di un vallone del Giura, potrebbe credere che il globo fosse veramente un pallone di caoutchouck. Ma chi sappia abbracciare d'uno sguardo le Alpi, le Ande, l'Himalaya, le intere masse continentali, deve pensarla ben altrimenti. Nè infine v'ha nulla di più naturale di ciò che una vôlta, di materiali rigidi, urtata dal sotto in su, si spezzi, anzichè si pieghi, almeno più di quel tanto che lo comporti la sua piccolissima elasticità, e che sarebbe annullato, appena cessasse l'interna pressione. Si tratta infine di ammettere delle semplici screpolature, causa di certe irregolarità, le quali, se a noi piccini appajono sì mostruose, non sono infine, come lo proclamarono in coro tutti i geologi, che semplici rughe. Nelle condizioni della terra, nelle condizioni di una sfera, tenuta salda su ogni punto dalla forza centripeta, non parmi si possano dare, relativamente parlando, grandi squilibri. L'espansione interna può, come ce lo dice il fatto, vincere a volta a volta la forza centripeta, e produrre una rottura; ma appena questa si formi, lo sfogo all'esterno, indebolendo immediatamente la causa dello squilibrio, lascia luogo ad un nuovo equilibrio. Quelle parti della crosta terrestre, che rimangono isolate da una frattura, non potranno moversi se non quel tanto che è acconsentito dal momentaneo squilibrio delle due forze contrarie, che le sollecitano. Dovran quindi ben presto arrestarsi, aderire di nuovo e tra loro ed alla massa, da cui si sono momentaneamente staccate; nè di tale scompiglio rimarranno altre traccie, che le irregolarità, le rugosità, le saldature, i crepacci, come avviene d'una crosta di ghiaccio, che mo-

mentaneamente si screpoli, poi si lasci in riposo. Nè altro in fatti ci presenta la crosta del globo, dopo le innumerevoli rivoluzioni che nel corso di tante miriadi di secoli rimutarono tante volte le terre e i mari, che sugosità, saldature, crepacci microscopici in confronto colla mole del pianeta.

399. Che altro infatti ci disse la stratigrafia dopo tanto delinear di spaccati, dopo tanto sviscerare de' monti, se non questo, che la crosta del globo è un aggregato di solidi, una vera breccia formata di frantumi, i quali, mentre costituirono un giorno uno o più strati continui e sovrapposti, si trovano ora più o meno spostati dal commune livello, disgiunti da crepature, o cementati da rocce eruttive, o da minerali infiltrati o sublimati. Un velo di ghiaccio, fratturato sullo stagno che egli ricopre, un uovo, tutto acciaccato e gemente l'albume in varie parti, ma conservante ancora integra la sua forma, sono per me le migliori similitudini. Io per me, se non temessi di eccitare soverchiamente la suscettività dei geologi, direi che non si parlasse più di sollevamenti o di teorica di sollevamento: che si dicesse soltanto, che la superficie della terra s' è fatta irregolare, rugosa, per una serie di screpolature. L'acqua, che non si screpola, e tende a livellarsi perfettamente, ma in quantità sufficente per coprire tutte le irregolarità del globo, non lo cela che per tre quarti, lasciando che sopra un quarto circa della superficie terrestre si mostrino a nudo le maggiori callosità. Sono queste che noi chiamiamo parti sollevate. Non negberemo che lo siano diffatti; ma bisognerebbe trovare un'altra parola, perchè il concetto del sollevamento di una montagna, di un continente, che è pure sì gran cosa in confronto della piccolezza e della debolezza nostra, rimanga adeguato alla realtà, che è quella di un fenomeno piccolissimo in confronto della gran mole terrestre e delle forze che la governano.

400. La teoria delle oscillazioni della crosta terrestre, completata ed unificata colla unione di tutti gli elementi adunati dai diversi geologi della scuola positiva, che per diverse vie riescono alla stessa meta, si potrebbe riassumere così.

Al calore centrale iniziale si associa un calore risultato di quella interna attività, di cui mille e mille combinazioni chimiche sono il principale e continuo prodotto. Questo calore che, per rapporto alle combinazioni chimiche, si può considerare e come causa e come effetto, svolgendosi in un meccanismo circolare di cui è ignoto il motore, di continuo si riproduce. Pel sincronismo tra la riproduzione del calore interno e le vicende esterne, che rimutano continuamente le condizioni dei continenti e dei mari, il calore interno è in continuo squilibrio; dove s'accumula, dove invece diminuisce. Dove si accumula ha luogo una serie di processi fisici e chimici, che si traducono principalmente in un aumento di volume delle masse interne, in confronto delle superficiali. L'aumento di volume delle masse interne agisce come forza meccanica contro gli strati più superficiali, e tutto tende a determinare un rilievo sull' area esterna corrispondente all'area interna, ove si opera l'aumento di volume. Lo sviluppo della forza meccanica interna è lento e graduato, come lenti e graduati sono l'accumularsi del calorico interno e lo svilupparsi delle combinazioni chimiche. La massa superficiale che è spinta in alto, essendo rigida, e relativamente poco coerente, si screpola e si spezza. Le screpolature e le spezzature devono essere generalmente lineari, semirette, parallele fra loro, come ce lo insegnano le esperienze sulla rottura dei solidi mediante una forza che agisce lentamente. Le spezzature dividono la massa, che tende a sollevarsi, in tante parti, quasi in tante tavole o prismi paralleli, che sono liberi di spostarsi, seguendo il vario impulso della forza che li sospinge. La spezzatura o lo spostamento di queste masse determina delle fessure, per cui si stabilisce l' immediata communicazione tra l'interno e l'esterno del globo; e tali fessure si allineeranno in-

variabilmente alla base di un rilievo. La rottura delle masse terrestri non potrà aver luogo senza un'oscillazione repentina, la cui scossa, propagata a lontananza indefinita, produrrà alla superficie della terra i fenomeni di un terremoto. I vapori a grande tensione nell'interno del globo, liberi nell'atto che si fende sopra di loro la crosta terrestre, eromperanno con violenza, seco esportando, in forma di detrito, di pietre, di bombe, di lapilli, di sabbie, di ceneri, i magma cristallini in cui sono impigliati gonfiandoli in guisa che trabocchino come liquido vischioso in ebollizione, e così hanno vita i vulcani. Per effetto dell'eruzione, diminuita la forza interna che sollevava e faceva sostegno alle masse sollevate, queste tenderanno a ricadere, cercando opportune condizioni di equilibrio.Ne conseguirà la potente, immediata e mutua reazione fra le masse spostate e le masse laterali allo spostamento. Tale reazione si tradurrà in un sistema di forze laterali, orizzontali od oblique, la cui azione potrà propagarsi a distanze indefinite, obbligando, secondo i casi, sia le masse spostate, sia le laterali ad esse, a piegarsi e contorcersi, formando un sistema di sinclinali e di anticlinali.

In questa teorica nessun fenomeno rimane inesplicato in quanto ha di più sostanziale. Essa potrà essere difettosa in molti punti più o meno accidentali; ma io credo si possa ritenere come sostanzialmente vera. Tutto il sistema del globo vi si concilia, tanto per riguardo al presente, come per riguardo al passato.

401. Sento il bisogno di un ritorno sui fatti ai quali si appoggia la teoria. Lo farò per dare uno sguardo generale alla superficie del globo e vedere se ella tradisce, nei grandi tratti orografici e geologici, l'origine delle sue irregolarità. La teorica esposta ci porta a distinguere due ordini di effetti. I primi sono *antecedenti* o *immediati*, cioè le rotture e gli immediati spostamenti, che determinano i rilievi o le depressioni. Gli altri sono *conseguenti*; derivano cioè come necessarie conseguenze, dalle rotture, e dalla formazione delle irregolarità della superficie terrestre e sono le eruzioni, le emanazioni gazose, le sorgenti, tutte le manifestazioni dell'attività interna, le quali possono prolungarsi per un tempo indefinito, dando luogo a formazioni che, o rimarranno entro le fessure, tendendo a saldarle, o si riverseranno al di fuori sulla superficie terrestre. Lo stato attuale della superficie terrestre è il risultato di quante rivoluzioni avvennero nel senso esposto, e deve quindi presentare il cumulo degli effetti antecedenti e conseguenti. Se la teorica che abbiamo esposta è vera, la superficie del globo deve presentare questi due tratti caratteristici:

1.° Il parallelismo di tutto ciò che si riferisce alle rotture, le quali, abbiam detto, devono essere in genere lineari e parallele;

2.° Le rocce eruttive alla base dei rilievi.

Dissi da prima che deve presentare il parallelismo di quanto si riferisce alle spezzature; quindi parallelismo di rilievi; parallelismo delle ripiegature, ossia degli assi sinclinali ed anticlinali; parallelismo dei vulcani; parallelismo dei dicchi; parallelismo dei filoni.

402. Cominciando dal parallelismo dei grandi rilievi, i quali devono essere l'immediata conseguenza delle rotture della crosta terrestre, segnando le grandi linee di frattura, ognun sa che le principali catene del globo, quelle che si presentano appunto come il risultato immediato di grandi dislocazioni, non si presentano punto quasi sottili diaframma; ma costituiscono vaste regioni rilevate, ove si contano molte catene, le quali si succedono le une alle altre, conservando un parallelismo che si rivela anche sulle carte geografiche le più mediocri. Io non vorrò qui perdermi in particolari. Osservate sulle carte le Ande e le Cordilliere; osservate le grandi catene che

Digitized by Google

limitano l'Africa dal lato sud-ovest; osservate più di tutto il più colossale tra i rilievi del globo, il gruppo delle montagne dell' Himalaya, e vedrete come questi massimi rilievi constano di molte serie parallele di rilievi, quasi di altrettante file di masse poliedriche, in cui fu rotta la crosta del globo, e sorsero in forma di altipiani o di piani inclinati. Anche le nostre Alpi risultano di diverse catene parallele. Tre principali ne distinse Desor (*Bul. soc. géol.*, XXII, pag. 354) a ciascuna delle quali corrispondono altrettante zone eruttive.

Le grandi masse, spostandosi e squilibrandosi, quindi reagendo sui lati, producono quell'altra classe di rilievi, i quali risultano da semplice ripiegatura di strati lateralmente compressi. La forma ondulata di quelle catene, e la facile assenza di rocce eruttive, appartenenti all'epoca del sollevamento, distinguono queste catene dalle altre, la cui esistenza si deve alla rottura immediata della crosta terrestre. Tali catene devono fiancheggiare le catene principali e tenersi quindi necessariamente ad esse parallele; avremo cioè gli assi delle sinclinali e delle anticlinali parelleli allo catene da cui dipendono. Un esempio stupendo di tale origine e di tale parallelismo, lo abbiamo nel Giura. Io penso, come dissi, con Desor, che il Giura debba il suo rilievo alla spinta laterale delle grandi masse alpine, sollevate in seguito alla più vasta rottura che abbia avuto luogo in Europa. Vedete in fatti, come il Giura si distenda letteralmente al piede delle Alpi dal lato nord-ovest, quasi gigantesco tappeto arricciato dall'urto di una mano potente; vedete come i suoi morbidi innumerevoli dossi, quasi onde di mare, mantenendosi paralleli a sè stessi, formino un sistema parallelo alle Alpi, di cui secondano meravigliosamente la curva. In fine scorrete un atlante geografico, e mi direte se il parallelismo delle montagne non costituisca il tratto più spiccato, più caratteristico, di tutte le regioni montuose del globo.

403. Parallele ai rilievi sono, e devono essere naturalmente, le depressioni. Ma, trattandosi di depressioni originate da rotture lineari, esse linee di rottura saranno quelle ove erompono i vulcani. Anche i vulcani adunque devono essere paralleli ai rilievi del globo. Sarebbe tempo gettato quello che si spendesse a citarvi in proposito una serie interminabile di fatti, molti dei quali vi sono già noti. Potrei richiamarvi, per esempio, la serie dei vulcani d'Italia, romani e napoletani, che disegnano una catena di coni, media e parallela alle catene dell'Appennino da una parte e alla catena littorale dall'altra. Potrei anche ricordarvi i vulcani della Nuova Zelanda, formanti diverse linee parallele fra loro, e un sistema complessivo, parallelo alla grande catena lineare, che corre così regolare le due grandi isole. Ma quando si è dimostrato che tutti i vulcani del globo formano un grande sistema lineare, il quale disegna il perimetro di tutti i continenti (*Parte prima*, Cap. XXX), si è dimostrato implicitamente il parallelismo tra i vulcani e i rilievi continentali, o piuttosto tra i vulcani e le catene, le quali sorgono sui confini fra i continenti e i mari.

404. Se i vulcani rappresentano le lave riversate dalle grandi spaccature sulla superficie terrestre, i dicchi rappresentano le stesse spaccature riempite di lave. I dicchi devono dunque anch'essi mostrarsi paralleli fra loro, o paralleli ai rilievi del globo. Il parallelismo dei dicchi è un fatto così noto, così splendido, che basterebbe da solo a sostenere la teorica, che vuole risultare le montagne dallo spostamento dei pezzi della crosta del globo, staccati e resi indipendenti fra loro, per un sistema di fessure lineari, parallelo. I dicchi di porfido nel granito del Riesengebirge hanno tutti, secondo G. Rose, una direzione NNE-SSO, e si accompagnano parallelamente per miglia e miglia (Naumann, *Lehrb.* II, pag. 696).

Digitized by Google

Ma per fare più presto, pigliate le magnifiche carte geologiche dell' Inghilterra e della Scozia, eseguite con tanta ricchezza di particolari. Voi vedrete, come il parallelismo dei dicchi sia così reale, così assoluto, che molte regioni, disegnate su quelle carte, sono coperte di strisce colorate, tutte parallele. Così si mostra la Cornovaglia tutta rigata di dicchi di greenstone e basalte; così il Pembrockeshire, e più di tutto le isole e le penisole della Scozia occidentale. Geikie, nell'opera più volte citata, osserva come i grandi dicchi della Scozia formano gruppi di linee parallele, lunghissime, corrispondenti a spaccature e salti della serie stratigrafica. Codesti enormi dicchi corrono via diritti, a guisa di muraglie; si arrampicano sui monti; attraversano le valli; si spingono al mare, ove si inoltrano, come dighe erette contro la furia della tempesta. Quei dicchi sono numerosissimi, e cita l' esempio dell'Isola Pabba, dove sporgono sì fitti, che si può correre l' isola, saltando di dicco in dicco, come sugli *slipper* della strada ferrata. Il loro numero si accresce mano mano che ci avviciniamo al gruppo basaltico delle Ebridi, al quale sono tutti coordinati. Si noti però, che, osservando la carta unita alla memoria di Geikie, essi dicchi son ben lungi dal formare un sistema radiante dai gruppi basaltici, come porterebbe la teoria dei crateri di sollevamento. Formano invece un gran sistema parallelo agli stessi gruppi basaltici, sicchè riesce evidente che, mentre le grandi masse basaltiche venivano eruttate da una grande spaccatura, diretta approssimativamente da SE a NO; le lave stesse si iniettavano, o nei prolungamenti di quella grande spaccatura, od in altre fessure, parallele alla principale.

405. Mentre le più larghe fessure aprono una via sufficiente, per cui possono penetrare le lave, e convertirsi in dicchi, le spaccature minori rimangono aperte soltanto ai vapori ed ai gaz, e vanno quindi incrostandosi di minerali, deposti principalmente per sublimazione, e si convertono in filoni. Noi dovremo trattenerci lungamente di un argomento che interessa del pari la scienza che l' industria. Per ora ci basti di segnalare il fatto che il carattere più sagliente di quello, che si chiama sistema di filoni, è il loro parallelismo.

406. Questo universale parallelismo, di cui studiammo i diversi tratti, si manifesta nel suo grande complesso in tutte le regioni del globo, specialmente in quelle ove alle linee antiche di frattura, agli antichi rilievi, si coordinano recenti od attuali manifestazioni, che indicano una attività localizzata, nelle sue manifestazioni, da antichissimi tempi, e quindi sempre vincolata ad un primo sistema di rotture e di sollevamenti.

È ciò che io tentai di far risaltare nella mia Memoria: *I petroli in Italia* (*Politecnico*, vol. I e II, 1866). La *Carta della zona petroleifera dell'Emilia*, aggiunta a quella Memoria, mostra un tale complesso di parallelismi, che merita d'essere ben apprezzato dai geologi. L'asse dell'Appennino si dirige da SEE a NOO. È la direzione di tutte le masse serpentinose, che a centinaja erompono sopra una vasta zona, che fiancheggia l'Appennino dal lato SO, col più esatto parallelismo. Parallela all'asse dell'Appennino, parallela alla zona delle serpentine, anzi fusa con essa, corre la zona petroleifera. I petroli vi sono già noti in circa trenta località, che si succedono linearmente alla base dell'Appennino, nel breve tratto da Piacenza a Bologna. Ai petroli si associano, sempre sulla stessa linea, le emanazioni di gaz idrogeno carburato, le fontane ardenti, le salse, note in oltre a venti località. Sulla stessa zona poi sorgenti numerosissime, sorgenti minerali, e principalmente le solfuree.

407. Gli stessi risultati ottenne l' Abich da' suoi studî, eseguiti a ben più vasta scala, nelle regioni del Caspio. Essi sono consegnati alla stupenda Memoria *Sopra*

una nuova isola apparsa nel Mar Caspio. (*Mém. Acad. St. Petersbourg*, VII Sér., Tom. VI., N.° 3). In quella classica regione, teatro da tanti secoli della più energica attività sotterranea, il parallelismo è tradito tanto dalle aeree vette del Caucaso, come dai vulcani di fango, che erompono dalle profondità del Caspio. I vulcani di fango sono allineati in guisa, da formare diversi sistemi paralleli, che si continuano tanto sul fondo del mare, quanto nelle basse terre, le quali si distendono dal lido verso le alture del Caucaso dalla parte di ovest. Una magnifica carta, che accompagna la Memoria, mostra come quei vulcani di fango, emuli talora, per mole e poderoso eruzioni, dei veri vulcani, sono distribuiti sopra quattro linee parallele, le quali indicano già per sè quattro lunghe spaccature, attraverso le quali l'attività vulcanica si manifesta così energicamente anche ai nostri giorni. Il parallelismo di quelle quattro linee colle più umili colline, cioè cogli assi sinclinali ed anticlinali dei rilievi che fiancheggiano il Caspio, e il parallelismo di essi rilievi colla grande catena del Caucaso, è così perfetto; che c'è da rimanerne meravigliati, e dirò meglio convinti di un sistema, che può vantare l'appoggio di così splendidi fatti. Quantunque l'illustre autore mostri di essere ancora dominato dall'idea dei *crateri di sollevamento*, non lascia però di osservare egli stesso, che di tutto questo grande sistema furon causa le grandi dislocazioni che ebbero luogo all'estremità S-E della catena del Caucaso, quando, egli dice, l'edificio di quella catena era già sorto. Dalle più accurate osservazioni, risulta che il rilievo centrale del Caucaso, almeno dal Babadac, alto 11,900 piedi, fin al lido del mare, rappresenta il labbro di una enorme spaccatura, per la quale la massa così spartita (se ho ben penetrate le idee dell'autore) da una parte rilevossi, formando il Caucaso, dall'altra si abbassò, e, suddivisa da minori spaccature, formò gli altipiani, le colline, la bassure tra il Caucaso ed il Caspio. Questo fenomeno di depressione sembra affetti tutte le regioni meridionali del Caspio. Da quanto espone l'Abich, dominato, come dissi, dalle vecchie idee, parmi dover conchiudere, che non v'è alcun argomento per dire, che il rilievo del Caucaso preesistesse alla spaccatura, e che avvenne una depressione delle masse a S-E della spaccatura stessa. Sembrami invece evidente che, determinatasi la spaccatura, uno dei labbri di essa sollevossi, formando il Caucaso; l'altro sollevossi meno, anzi si depresso da una parte verso il Caspio, e sollevossi dall'altra verso il Caucaso, con un movimento da bilanciere, diviso alla sua volta in più pezzi, da più spaccature; d'onde i varî rilievi e le varie linee di continuata attività. Infatti, dice l'Abich, i terreni, i quali si scoprono alla base del Caucaso, alla linea di confine tanto del mare, quanto del basso paese, appartengono ad epoche assai più antiche della *molassa* (arenaria) delle basse regioni. Aggiunge che il Caucaso, ove confina col basso paese e col mare, si leva a picco; mentre il basso paese, appoggiato contro il grande rilievo, se ne diparte, formando una serie di sinclinali o di anticlinali, i cui assi sono paralleli alla catena del Caucaso, e coincidono colle spaccature da cui erompono, in serie lineari, parallele, i vulcani di fango.

408. Io non saprei scegliere esempio migliore di questo, per dimostrarvi tutto il complesso delle tesi, relative ai movimenti della crosta terrestre, sostenute più sopra. Una grande spaccatura, un grande spostamento da un lato di una massa che si solleva, mostrando a nudo, coi terreni a picco, il piano di frattura; dall'altro lato una massa, fessa in molti poliedri paralleli, che, liberi, oscillanti, cercano il loro equilibrio, e danno così origine allo sviluppo di forze laterali, onde rimangono ripiegate e contorte. Da nessun luogo, riflette l'Abich, più che dalle regioni del Caucaso, poteva il geologo aspettarsi un complesso più pieno di tutti quei fenomeni, che si riferiscono

Digitized by Google

ai movimenti della crosta terrestre. Trattasi di una regione, posta tra due mari interni, i cui bacini furono soggetti, in epoche recentissime, a grandiose fasi di sollevamento e di abbassamento, in balía di una attività, che è ben lontana ancora dal mostrarsi esaurita. E ciò che si osserva dal lato del Caspio, si ripete dal lato del Mediterraneo. Una più recente Memoria dello stesso Abich, intitolata: *Geologia della penisola Kertsch e Taman* (*Mém. Acad. St. Petersbourg*, VII ser., tom. IX, num. 4), dimostra come su quella penisola che si spinge fra il Mar Nero e il Mar d'Azof, teatro di recenti poderose eruzioni fangose, le numerose salse sono esse pure disposte sopra linee approssimativamente parallele, le quali, in massa, seguano la direzione del Caucaso, e si legano, per tale rapporto, colle salse del Caucaso.

409. Verificato il primo tratto caratteristico (e avremmo potuto accumulare gli esempi) in prova della teorica delle oscillazioni da noi esposta, veniamo al secondo: vediamo cioè, se le rocce eruttive si trovino veramente alla base dei rilievi.

Se noi ci arrestiamo ai vulcani attuali, od almeno recenti, la tesi non può essere già più splendidamente dimostrata. Quanto abbiam detto circa la distribuzione dei vulcani (*Parte prima*, Cap. XXX) serve a dimostrare come i vulcani attuali o recenti eruppero appunto alla base degli attuali grandi rilievi del globo. Risparmieremo adunque inutili ripetizioni, pregando soltanto i geologi a porre ben mente a questo tratto grandioso della fisica terrestre. I cento vulcani allineati sulle coste dell'America verso il Pacifico si schierano tutti alla base della grande catena, che regge quel lunghissimo continente, e segnano i confini tra quello sterminato lembo di terra sollevato e l'immensa depressione del Pacifico. I vulcani dell'Atlantico, dall'Isola Jan Meyen all'Islanda, dall'Islanda alle Azzore, alle Canarie ed alle isole del Capo verde, da queste all'Ascensione, dall'Ascensione a S. Elena, Tristan d'Acunka, Fernando-Po, Loss, Trinità, Gonck, tutti non toccano nemmeno i rilievi continentali, ma sorgono dalle profondità oceaniche, quasi disegnando l'imo letto di quella valle, che noi chiamimmo Atlantico. Poi, che serve? tutti i vulcani del globo segnano, come abbiam detto, il perimetro dei continenti, ed hanno radice in quelle depressioni, che noi chiamiamo od Oceani, o Mediterranei, o Caspî. Oso dire che tutti i vulcani attuali sarebbero sottomarini, se il rigetto accumulato dai secoli non li avesse levati fino ad emulare le vette più eccelse.

410. Se ci stacchiamo dai vulcani attuali e recenti, se appena guardiamo alle rocce vulcaniche dell'epoca terziaria, principalmente a quelle che rimontano ai periodi miocenico ed eocenico, noi non possiamo più pretendere di trovarle nei rapporti accennati cogli attuali rilievi. L'orografia del globo è interamente cambiata. Sulla fine dell'eocene medio, ossia dei depositi nummulitici, l'Europa elevossi oltre a 3000 metri, l'Asia a 5000, l'America a 2000 (*Parte seconda*, § 1045). I continenti attuali sono quasi letteralmente una creazione attuale. Furono grandi sconvolgimenti, immense rotture, enormi squilibrî quelli, per cui in epoca sì nuova la terra asciutta aggruppossi in grandi masse attorno al polo artico, levandosi su quelle aree, che prima erano coperte da altrettanti mari. La geologia stratigrafica è tutta sull'affermare un fatto così grandioso, del pari che innegabile. Le rocce eruttive, che entrano a formare anch'esse l'ossatura degli attuali continenti, furono, come le rocce sedimentari, e con esse, spezzate, smosse, sollevate. Come formavano il fondo di antichi mari, perchè eruttate sopra aree indubbiamente dal mare coperte, così debbono ora costituire monti e cime di monti. Bisognerebbe ricostruire gli antichi mari e le antiche terre, per vedere in quali rapporti fossero gli antichi vulcani cogli antichi rilievi e colle antiche depressioni. Io non credo impossibile che la scienza geolo-

Digitized by Google

gica arrivi a poco a poco a compire questo immenso lavoro della ricostruzione degli antichi mondi. Anzi esso fu già iniziato. Per sventura però io credo aver dimostrato, che questi primi tentativi furono fatti sopra basi false, od almeno incomplete (*Parte seconda, Appendice prima*). È uno studio affatto nuovo, un campo immenso, ma ancora chiuso. Parmi di vedere intanto, che certi grandi tratti della distribuzione delle rocce eruttive antiche rispondano abbastanza bene al concetto della loro distribuzione originaria alla base degli antichi rilievi. Osservo, per esempio, che le rocce eruttive si trovano talvolta ad una elevazione sempre minore quanto più sono recenti. Ciò almeno si verifica per le Alpi. I maggiori colossi alpini, come il Monte Bianco, il S. Gottardo, le Alpi dell'Engadina, il Brenner, ecc. rivelano ne' loro fianchi squarciati le grandi masse di granito, di diorite, di serpentino, la cui associazione ai terreni cristallini, detti metamorfici, accusa delle eruzioni, che ebbero luogo nelle più antiche epoche paleozoiche. Se discendiamo più basso, e precisamente nella regione delle Prealpi italiane, eccovi i porfidi di vario aspetto, che segnano colle loro moli, più o meno distanti, una zona, che richiama l'allineamento degli attuali vulcani. Gli studî sui porfidi del Tirolo, del lago di Lugano e delle valli bresciane e bergamasche, mettono in chiaro una serie di eruzioni, che continuossi, dallo spirare dell'epoca paleozoica, fin verso i primordî del lias. Più basso ancora i basalti e le trachiti degli Euganei e del Vicentino sono testimonî delle eruzioni, che si alternavano coi sedimenti nei mari terziarî. Se non abbiamo vulcani attuali, che faccian seguito abbassandosi fino alle profondità dell'Adriatico, stanno per loro i vulcani attuali d'Italia, radicati nelle profondità del Tirreno, e i vulcani di tutto il globo, sorgenti dai mari attuali. Si direbbe veramente che, mano mano che s'andavano elevando le Alpi, nuovi vulcani apparivano alle loro basi, e che le rocce vulcaniche, seguendo pur esse il successivo rilievo, dovettero trovarsi scaglionate sempre più basso, a misura che erano più recenti.

Fu per effetto del sollevamento che i primi graniti veggonsi ora coronare le cime delle Alpi. Ma essi pure in origine si espansero alla base di un rilievo, che ora forse è sommerso nel mare. Se il sollevamento non avesse avuto luogo, i graniti alpini si troverebbero ancora espansi nelle marine profondità.

411. Mi sia permesso di raccogliere un altro fatto in questo campo spinoso.

Chi dalle alte regioni delle Alpi discende verso le bassure della Germania, avezzo a vedere i graniti torreggianti in cima ai più grandi colossi alpini, prova una certa sensazione di meraviglia quando si imbatte in quella sterminata regione granitica, che si distende sulla sinistra del Danubio, da Regensburg a Vienna, e da Vienna a Dresda, dilatandosi nella Boemia, formando una specie di vasto bacino circolare, entro il quale si distendono a larghe falde i terreni sedimentari paleozoici e di epoche più recenti. A petto delle Alpi quella regione montuosa figura come una depressione. Chi fosse dominato dalle idee volute dalla teoria dei crateri di sollevamento, deve rimanere meravigliato vedendo, come, non già nelle Alpi, ma precisamente alla base di esse, tra la grande catena, e la pianura che confina col mare, entro i vasti dominî del Reno e del Danubio, si deve collocare il regno delle rocce eruttive, antiche e moderne, dei graniti, del pari che dei basalti e delle trachiti. Colui invece a cui risultò evidente, come le eruzioni sono conseguenza del sollevamento, e devono aver luogo alla base dei sollevamenti, è tentato di credere che il grande sviluppo delle rocce eruttive a Nord del principale rilievo d'Europa sia una conseguenza della formazione del rilievo stesso, o che ai successivi movimenti, a cui è dovuto il sollevamento delle Alpi, dall'epoca paleozoica, fino al periodo qua-

Digitized by Google

ternario, rispondano le successive eruzioni dei graniti, delle sieniti, dei porfidi, delle trachiti dei basalti, quella serie di eruzioni, che, cominciata colle rocce granitiche associate ai terreni siluriani della Boemia, terminò colle eruzioni terziarie e quaternarie del Siebengebirge e dell'Eifel. Dissi è tentato di credere; perchè a un'idea, che andrebbe coltivata, e discussa in confronto coi fatti, non voglio attribuire l'importanza di una tesi dimostrata. Rimane però sempre vero, che il grande rilievo delle Alpi non può attribuirsi all'azione sollevante immediata delle rocce eruttive, mentre esse rocce eruttive hanno pari e maggiore sviluppo nelle regioni meno rilevate del globo.

412. In fine nulla si spiega colla teoria dei *crateri di sollevamento:* tutto invece le contraddice. Colla teorica esposta tutto si appiana. Calore perenne, e quindi perenne attività. La crosta del globo sente di continuo l'effetto di questa attività, così continua, eppure così mutabile. Secondo che il calore si accumula in un punto e si strema in un altro, la crosta terrestre si spezza, si sposta, si alza, si abbassa, e si curva e contorce in preda a continui squilibrî. Così di continuo si rimutano i rilievi e le depressioni, i continenti ed i mari. Dalle aperte fessure erompono i vulcani, rimutandosi anch'essi di luogo, coll'alternarsi sulle stesse aree dei rilievi o delle depressioni. Le rocce eruttate negli antichi mari, sono portate in grembo ai nuovi monti: e nuovi vulcani erompono dalle profondità de' nuovi mari.

XII. Principî della cronologia endografica.

413. Visto come si generano le rocce eruttive, e come vennero a far parte della crosta terrestre mano mano che si veniva formando, ci sentiamo spinti naturalmente ad ordinare i fatti, che si riferiscono alle rocce eruttive; a rifare, cioè, anche per questa parte, la storia del globo. La stratigrafia ci narrò quella serie di rivoluzioni, per cui rimutossi la superfice del globo, da quell'epoca che noi chiamiamo *azoica*, fino al giorno in cui comparve l'uomo a signoreggiare la terra. Abbiamo veduto come le rivoluzioni della vita accompagnarono quelle del pianeta, e come mille e mille generazioni apparvero e si spensero, mano mano che mille e mille volte rimutaronsi le condizioni alla superfice del globo. Ma la stratigrafia ci disse una storia di fatti, i quali si legavano a cause ignote. Queste cause in massa noi le abbiamo trovate. La superficie terrestre, e quindi le condizioni della vita, si rimutarono col rimutarsi delle terre e de' mari, e queste col rimutarsi delle condizioni interne del globo, per cui si esercitava costantemente, ma variabilmente, quel complesso di forze, cui Humboldt definì col termine generale di *reazione interna contro la superficie*. Ora con qual ordine si succedettero queste interne rivoluzioni? Come si accordano nel tempo i movimenti interni, colle rivoluzioni esterne? le evoluzioni della vita interna del globo, con quelle delle piante e degli animali? Abbiamo dato una *cronologia stratigrafica*; ora dobbiamo delineare, se è possibile, una *cronologia endografica*.

Come pel presente, così pel passato, noi non possiamo conoscere ciò che si opera o si operasse nell'interno, se non guardando alle manifestazioni esterne. Trattandosi

poi del passato noi non possiamo valerci che di quelle manifestazioni, le quali, secondo l'espressione da noi già usata, si traducono in *fatti permanenti* (*Parte prima*, § 2). Le rocce eruttive, i minerali originati dall'interno, il metamorfismo delle rocce preesistenti, le rotture, gli spostamenti e tutti gli effetti dell'azione meccanica, saranno questi fatti permanenti, ai quali dovremo aver ricorso, per conoscere ciò che avvenne nell'interno, e quanto, per l'interno, operossi all'esterno; studiando inoltre con qual ordine, nella serie dei tempi, si compirono tutte quelle rivoluzioni. L'argomento è al certo difficile, ma non impossibile a trattarsi, e la scienza ci permette già di fissare le basi di questo nuovo studio.

La cronologia endografica ha in pronto degli argomenti, che corrispondono per bene a quelli impiegati dalla cronologia stratigrafica; di più quella usufrutta tutti i maravigliosi risultati di questa. È naturale! Una volta che noi possiamo fissare una serie di rapporti tra i terreni eruttivi ed i terreni di sedimento, tra i fatti che si riferiscono all'azione interna, e quelli che si riportano agli avvenimenti superficiali, sarà facile il dedurre una cronologia da questi rapporti tra fatti non ancora ordinati cronologicamente con altri che perfettamente lo sono. Vedremo quindi anche qui come la paleontologia sia veramente la base della geologia, e principalmente della geologia cronologica; come cioè i fossili, benchè quasi letteralmente esclusi dai terreni eruttivi, sieno anche per essi le *medaglie della creazione*.

414. Veniamo a noi. La cronologia delle rocce eruttive può in primo luogo stabilirsi sui rapporti delle stesse rocce eruttive fra loro, determinandosi così cronologicamente la serie delle eruzioni. Una roccia eruttiva può trovarsi in rapporto con altra eruttiva principalmente in due modi; od injettandola sotto forma di dicco, o ricoprendola, sotto forma di corrente, di espandimento, od anche di strato detritico. Possiamo stabilire due assiomi:

1.° La roccia che injetta è più recente della roccia injettata, e viceversa.

2.° La roccia che ricopre è più recente di quella che è ricoperta, e viceversa.

Il secondo assioma è ancor quello su cui si regge la geologia stratigrafica.

415. Nel caso pratico però non sarà sempre facilissima l'applicazione dei due assiomi. Parlandosi dei dicchi, talora essi si ripetono a così brevi intervalli, che non si saprebbe a prima giunta distinguere la roccia incassante della roccia incassata. Esaminando però il paese sopra una certa estensione, non sarà difficile distinguere le grandi masse, principalmente se hanno forma di grandi espandimenti, dai dicchi di cui sono injettate; distinguere il principale dall'accessorio. Io non dubito, per esempio, che l'ingente massa di granito porfiroide (*serizzo ghiandone*) che torreggia sulle alte cime del Masino, tra Morbegno e Chiavenna, non sia anteriore al granito a piccoli elementi (*miarolo*, *S. Fedelino*) sviluppatissimo ad ovest del precedente, nelle montagne sopra Riva di Chiavenna, perchè, mentre non ho mai osservato una vena di *ghiandone* nel *S. Fedelino*, sono communissimi i massi erratici di *ghiandone* trapassati da vene di *S. Fedelino*. L'attenta osservazione ci condurrà poi facilmente a stabilire, anche su piccole masse, qual sia l'injettante, quale l'injettato. Sono frequenti, per esempio, nelle rocce eruttive le vene di quarzo, i filoncelli di minerali diversi. Quando la roccia si spezza per aprir la via al dicco, le vene spezzate, interrotte dal dicco, saranno argomento sicuro per fissare la posteriorità di questo. I dicchi, injettando una roccia preesistente, sviluppano, come abbiamo veduto, una forte azione meccanica, alla quale dobbiamo primieramente il triturramento degli elementi del dicco, principalmente sui lati, di più la formazione delle dette salbande, cioè dei conglomerati di frizione, che fiancheggiano il dicco. Anche tali accidenti ci condurranno facilmente a distinguere la roccia injettata dalla injettante.

Digitized by Google

Sono frequentissimi i casi in cui un dicco, che trafora una roccia preesistente, è alla sua volta traforato da un dicco più recente, il quale, se fa d'uopo, lo sarà da un altro ancora più giovane. Si formerà così uno di quegl'intrecci di dicchi e di vene, di rocce eruttive diverse, così communi nei distretti cristallini. Nulla di più facile che il leggere la cronologia su tali intrecci, stabilendo il seguente assioma, facile ad intendersi: « Il dicco incrociatore è più recente del dicco incrociato. » Valga per tutta dimostrazione un esempio.

416. Ho detto più sopra che si trovano frequentemente nell'alta Lombardia, e precisamente sulle montagne sorgenti tra i due rami del lago di Como, i massi erratici del granito porfiroide del Masino, injettati di vene di granito a fini elementi. Uno di questi massi, di dimensioni enormi, mi venne visto sopra Erba nell'occasione di una corsa geologica in que' dintorni fatta in compagnia dei signori Studer, Desor, Mérian, Omboni, Mortillet, che rimasero colpiti da quel saggio meraviglioso, ove si leggevano, nell'intreccio di mille vene, almeno tre periodi di eruzioni. Il signor Omboni si fe' premura di far staccare da quel masso un grosso frammento, che si conserva nel Museo di Milano, e che è qui rappresentato dalla fig. 30.

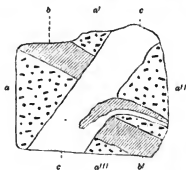



Fig. 30. — Granito porfiroide con incrociamento di due filoni.

Qui ognun vede come il *ghiandone a*, diviso ora in più parti, si spezzò in origine in guisa che una larga fessura, regolare, divise le porzioni *a a'''* dalle altre *a' a''*. Questa fessura fu injettata di *miarolo*, granito a piccoli elementi, che costituisce il piccolo dicco, or diviso in due porzioni, *b b'*. Ma una nuova rottura ebbe effetto normalmente alla prima; per cui spezzossi di nuovo il *ghiandone*, e con lui il dicco di *miarolo*, e avvenne colla rottura un *salto*, accusato dall'abbassamento della porzione *b'* del dicco di miarolo, in confronto della porzione *b*. La nuova fessura fu riempita dalla roccia *c*, una specie di massa granitosa, feldspatica.

417. Quanto ai dati cronologici che si possono dedurre dalla sovrapposizione degli strati eruttivi, la cosa, come dissi, procede nel modo il più semplice, come per gli strati sedimentari. Le montagne vulcaniche sono costituite dalla sovrapposizione di correnti e di strati detritici, che si contano a migliaja, e su cui è stampata la cronologia delle eruzioni di quel vulcano. Mancando tuttavia in essi strati le *medaglie della creazione*, nè essendosi finora potuto sostituire ai fossili qualche altro dato che serva a generalizzare; ogni vulcano isolato non ci presenterà che la sua cronaca parziale di poco interesse. La cronologia delle rocce eruttive avrà una vera importanza geolo-

gica allora soltanto, che possa sincronizzarsi colla cronologia generale del globo. Siccome qnesta cronologia generale non ci è data finora che della serie degli strati sedimentari fossiliferi, così non potremo stabilire la cronologia generale delle rocce eruttive, quindi delle interne rivoluzioni del globo, se non in quanto potremo mettere in rapporto le rocce eruttive colle rocce sedimentari.

418. I rapporti tra le rocce eruttive o le sedimentari sono stabiliti ancora dalle due forme, sulle quali furono fissati i rapporti delle rocce eruttive fra loro. Una roccia eruttiva potrà traforare uno strato sedimentare come dicco, e ricoprirlo come corrente, come espandimento, come strato detritico. Valgano, senza ripeterli, gli assiomi già stabiliti, con questo vantaggio che, parlandosi del dicco, la natura delle rocce non permetterà punto che si scambi l'incassato coll'incassante. Così potrà applicarsi l'assioma stabilito sull'incrociamento. Sull'intreccio delle vene, diramantisi nella serie degli strati sedimentari, potranno leggersi contemporaneamente gli avvenimonti che si riferiscono alla superficie, e quelli che si riportano all'interno del globo. Il signor Delesse, per esempio (*Études*, ecc.) ci presenta lo spaccato di una cava di grès a Mont-Scrabo. Noi vediamo qnella massa di grès, a strati orizzontali, penetrata da una vena di trapp; questa è incrociata da nna seconda, la quale naturalmente deve aver traforato anche il grès; finalmente sorte un dicco, che tronca amendue le vene di trapp. Voi ci leggete adunque tre successive eruzioni, tutte posteriori a quel deposito di grès.

419. Quanto agli espandimenti interstratificati, essi costituiscono una *stratigrafia* che noi chiameremmo *mista*, ove si leggono i periodi successivi, e alternanti, della sedimentazione o della eruzione. Ognun vede come si può avere per qnesto mezzo una cronologia endografica, perfettamente parallela alla stratigrafica, snddivisa in tanti periodi, quanti sono gli strati fossiliferi alternanti cogli espandimenti eruttivi. E lo studio di un tale cronologia andrà senza dubbio progredendo, mano mano che i geologi, in luogo di veder sempre nelle rocce eruttive delle masse sollevanti la crosta terrestre, si avvezzeranno a riconoscervi, o semplici espandimenti, o pioggie detritiche che coprivano le antiche terre, o meglio ancora si alternavano cogli strati sedimentari sul fondo degli antichi mari. Ci basti richiamare gli studî recenti sul terreno carbonifero della Scozia, da noi già riportati (§ 97), per vedere come, per mezzo di questa *stratigrafia mista*, cioè nell'alternanza di strati fossiliferi marini, maremmani, terrestri, con strati di lava e di ceneri, si possa ristaurare perfettamente la storia di una regione in un'epoca, in cui essa regione era il teatro ad un tempo della fecondità e della vita, come della lotta intestina più incessante e per conseguenza dolle esterne conflagrazioni.

420. Non fa bisogno nemmeno che la roccia vulcanica sia lotteralmente interstratificata, per fissarne l'epoca, mediante i rapporti stratigrafici coi terreni sedimentari. Vale per le rocce eruttive anche quel dato stratigrafico, che venne già da noi consultato, per stabilire principalmente le epoche delle allnvioni. Una roccia qualunque che si formi, per qualunque via, nella cavità praticata dall'erosione in un'altra roccia, sarà naturalmente più recente di questa. È un nuovo canone di cui si può far uso specialmente per fissare le epoche delle eruzioni sulla terra ferma, le quali, in genere, sono le più recenti. L'erosione meteorica e fluviale tende continuamente a produrre de'vani nelle rocce superficiali, e in questi vani principalmente si raduneranno le correnti di lava, non che i detriti vulcanici. Nello spaccato di Belfast, delineato da Delesse (*Études*, ecc.) la serie sedimentare, formata colla sovrapposizione del *nuovo grès rosso* (trias), del lias e della creta, è ricoperta da un espandimento

Digitized by Google

di trapp, il quale fa cappello alla *creta bianca*. Tutta la formazione, cominciando dal trapp, fu profondamente erosa, e nell'imo della depressione così formata, giace, in grembo al grès rosso, un deposito terziario. È evidente che l'eruzione di quel trapp ebbe luogo in un intervallo di tempo, tra la creta bianca ed i periodi terziarî.

421. Anche le modificazioni, apportate dalla roccia eruttiva allo rocce di contatto, divengono un elemento di cronologia. Si può stabilire in fatti questo assioma; la roccia modificata è anteriore alla roccia modificante. Il nuovo dato può tornare opportuno principalmente in due casi:

1.° Quando non si sapesse decidere se una roccia eruttiva, compresa in una formazione, appartenga piuttosto ad un dicco, che ad un espandimento;

2.° Quando la serie, che comprende degli strati lavici, abbia subìto un rovesciamento.

Bisogna avvertire per ambedue i casi che, avverandosi un espandimento sopra uno strato o terrestre o marino, questo sarà modificato alla superficie di contatto, mentre nessuna modificazione sarà presentata da quello strato terrestre o marino, che venga in seguito a ricoprire l'espandimento. Ora nel primo dei casi accennati, trattandosi cioè di distinguere un dicco da un espandimento, il metamorfismo unilaterale, piuttosto che bilaterale, servirà all'uopo. Nel secondo caso poi, quando la serie sia rovesciata, quando un espandimento si trovi compreso in una massa di strati a **C**, lo strato inferiore, che in questi casi si presenta come superiore, sarà riconosciuto come quello che ha subìto il metamorfismo. Dirò in proposito come io creda, che l'aver sovente i geologi errato nel determinare l'età delle rocce eruttive, sia dipeso dall'avere creduto in posizione normale un espandimento interstratificato che aveva subìto un rovesciamento. — Io credo, per esempio, che ad un semplice errore di questo genere debbansi i graniti d'epoche recenti, fino i graniti terziarî, che si vollero scorgere nelle Alpi ed altrove. Date uno sguardo allo spaccato del Tirolo meridionale che noi abbiamo ricopiato da Suess (§ 338), e vedrete come facilmente un geologo meno esperto potrebbe giudicare il granito di Cima d'Asta come più recente dei terreni cretacei e terziarî, che gli stanno sotto, per semplice effetto di un ripiegamento a **C**.

422. Un altro argomento a stabilire la cronologia endografica è offerto dai *ciottoli interclusi*. Esso varrà singolarmente a stabilire la cronologia relativa tra le roccie vulcaniche e le sedimentari. Le lave, erompendo in forma di dicchi, lacerano, come abbiam visto, le rocce preesistenti sul loro passaggio, e ne intercludono i frammenti. L'azione erosiva dei fiumi e dei mari demolisce le masse vulcaniche, e ne fabbrica sedimenti, nominatamente conglomerati, in cui i ciottoli eruttivi rimangono interclusi. Naturalmente la roccia, i cui frammenti sono interclusi, è più antica di quella che li interclude. Vedesi dunque come sia facile stabilire, mediante questo criterio, una cronologia relativa. L'interclusione dei ciottoli presenta tre casi.

1.° *Interclusione di frammenti eruttivi in dicchi e correnti eruttive.* — È il caso che ci venne presentato dai graniti, dai serpentini, in fine da tutte le rocce cristalline. Si richiamino i graniti di Montorfano (§ 34), le lave dell'Eifel, (§ 30,31), ecc. Il gran gruppo porfirico, che si osserva nelle vicinanze di Bolzano, presentommi tre varietà, che si associano senza ordine apparente: un porfido *verde*, predominante nel gruppo; un porfido *rosso*, che si assomiglia al porfido antico; un porfido *bianco-gialliccio*, costituente una varietà eccezionale. Non è a dubitarsi che il porfido rosso eruppe dopo il verde, mentre i frantumi di questo si veggono spesso avviluppati da quello.

2.° *Interclusione di frammenti sedimentari in dicchi e correnti eruttive.* — È il caso pur presentato dai vulcani dell'Eifel, e per cui sono celebri le lave del monte Somma.

Digitized by Google

3.° *Interclusione di frammenti eruttivi in strati sedimentari.* — È il caso più pratico, più commune, e che promette alla geologia endografica un grande avvenire. Pensiamo come in tutti i terreni, tanto alle basi del Siluriano, quanto nel pliocene, vi sono puddinghe e conglomerati d'ogni sorta. Essi conglomerati risultano in gran parte da tritume di masse vulcaniche, demolite e sminuzzate, e son già numerizzati ed ordinati nella serie stratigrafica. Ognuno intende come, ordinando stratigraficamente, quindi cronologicamente, una collezione di puddinghe, ci si troverebbero già ordinate cronologicamente le rocce eruttive. Per sventura i geologi non si avvisarono ancora di cavare partito sufficiente da così facili tesori. È una nuova paleontologia, la *paleontologia litologica*, valida del pari, e più facile a farsi che la *paleontologia organica*, ma che non è nemmeno iniziata. Quando si ordineranno i ciottoli componenti le puddinghe, come le spoglie organiche che si contengono negli strati, si troverà che la cronologia endografica può essere particolareggiata al pari della stratigrafica. Tra Voigtsberg e Hartmanngrün la base del terreno di transizione è costituita da un grossolano conglomerato, in cui si distinguono grossi ciottoli di granito, diverso da quello che trovasi in posto in quella regione. Ecco un fatto da cui si può desumere l'esistenza di un granito anteriore all'epoca siluriana, e la posteriorità, per rapporto alla stessa epoca, del granito in posto.

423. Lascio di parlare di que'casi in cui lo stesse rocce vulcaniche sono fossilifere, poichè è troppo evidente che esse vengono ad ordinarsi da sè nella serie stratigrafica, como fossero strati sedimentari. Sono diversi i casi in cui un terreno vulcanico risulta fossilifero. Le ceneri ed i lapilli lo divengono, formando strati terrestri in cui possono essere sepolte e spoglie animali e piante, o lo divengono ancor meglio quando vadano a formare depositi subacquei. Certi tufi vulcanici, prodotti o da immediate dejezioni in mare, o dalla demolizione dei coni insulari o littorali, sono ricchissimi di fossili. Basterebbe citare in proposito le brecciole od i tufi basaltici di Roncà e di molte altre località del Vicentino rigurgitanti di una fauna eoconica la più ricca. Fossiliferi possono essere i *trass*, cioè i fanghi eruttati dai vulcani. Il trass dell'Eifel, da cui il nome generico dei depositi aventi la stessa origine, rappresenta una enorme corrente di fango, che, uscita dal cratere del lago di Laach, inondò, anzi colmò fino ad una grande altezza la valle che conduce al Reno, seppellendo le foreste che ammantavano la valle stessa. I numerosi tronchi, talora quasi intatti, e le foglie modellate dal fango, dicono una flora recente, anzi in genere una flora vivente, che attesta la giovinezza di quella eruzione.

424. Domandasi ora, se dalla natura mineralogica delle rocce eruttive possano dedursi dati cronologici. Vollero in fatti i geologi dalla identità o dalla somiglianza delle rocce argomentare della contemporaneità delle eruzioni. « Generalmente, dice Delesse, le rocce della medesima età hanno la stessa composizione, e reciprocamente le rocce aventi la stessa composizione chimica, e formate di identici minerali, ed associate nella stessa maniera, sono della stessa età. » La cosa è vera fino ad un certo punto. I basalti e le trachiti della Sardegna, dell'Alvernia, degli Euganei, della Boemia, del Siebengebirge, ecc., che rimontano in genere alla stessa epoca, cioè ai diversi periodi terziarî, si assomigliano fra loro assai. Una certa somiglianza si verifica pure attualmente tra i prodotti dei diversi vulcani del globo. Noi insisteremo più tardi sopra tali somiglianze; ma intanto noteremo come vi sono graniti siluriani e graniti carboniferi; basalti giuresi e basalti terziarî; sorpentini nel Laurenziano del Canadà o nei terreni terziarî o cretacei dell'Appennino. Conchiudo adunque che l'argomento della somiglianza mineralogica, va, come per la cronologia stratigrafica,

preso come argomento di soccorso, come argomento di probabilità in mancanza di altri, che maturino la certezza. Sopra tutto avrà un certo valore in una geologia locale, essendo al certo molto probabile la contemporaneità de'serpentini, dei porfidi, dei basalti che, cogli identici caratteri mineralogici, si mostrano aggruppati nello stesso distretto, mostrando di essere il prodotto di uno stesso sistema di fratture. Finalmente dirò, come la cronologia endografica si otterrà coll' impiego di tutti gli argomenti, dai quali si può desumere l'epoca di una eruzione; e toccherà all' acume del geologo di trar profitto da tutte le circostanze che presenta un distretto, in guisa che i dati si accordino, si sostituiscano, si mutuino a vicenda, finchè si arrivi a conclusioni certe od almeno probabili.

425. Se avessimo agio di farlo, vorremmo riportare diversi esempi, per dimostrare come i geologi siano riusciti a darci di diversi distretti una storia che comprende ad un tempo le esterne e le interne rivoluzioni, e come possano, battendo la stessa via, rifare allo stesso modo tutta la storia del globo. Gli studî già riportati di Geikie sulla Scozia (§ 94 e seg.), di Suess sul Tirolo (§ 336), di Spreafico e Negri sul lago di Lugano (§ 338), possono qui richiamarsi opportunamente, come bellissimi saggi di cronologia stratigrafico-endografica. Il Manuale di Lyell ve ne porge altri, e non possiamo dispensarci dal recarne due bellissimi. Il primo l'abbiamo nello spaccato di Castell Follit (*Manuel*, ecc., II., pag. 339). Sopra una pagina di 40 metri voi leggete tutti gli avvenimenti che si compiono in Catalogna, partendo dal periodo eocenico. Il fiume Fluvia ha rôso profondamente le colline ad est di Olot, sopra una delle quali sorge appunto la città di Castell Follit. Dalla alluvione del fiume affiorano gli strati eocenici, fortemente inclinati, che accusano il grande sollevamento, avvenuto dopo il periodo eocenico, ed a cui si deve principalmente, il rilievo della Catalogna non solo, ma di tutti gli attuali continenti. Gli strati eocenici vennero quindi erosi, e le loro testate adeguate in forma di piano ondulato. Le alluvioni, distese sopra il piano ondulato, sono il prodotto di antichi fiumi, che avevano foggiato in pianura alluvionale quella parte della Catalogna, prima che i vulcani erompessero in que'dintorni. Ma ecco le correnti di lava si dilagano sul piano. Sono lave basaltiche, che, raffreddandosi, formano magnifici colonnati. Noi contiamo cinque letti ben distinti di basalte, cioè cinque correnti, quindi cinque eruzioni. Un lungo periodo di pace, che si continua fino a'giorni nostri, ha lasciato il tempo alla Fluvia di rodere quelle imponenti masse vulcaniche, giungendo fino a mettere a nudo gli strati eocenici, che stanno a base delle più recenti formazioni.

426. Il secondo esempio l'abbiamo nello *Spaccato dalla valle della Couze alla valle dell'Allier*, nell'Alvernia, ove si legge la storia lunga e particolareggiata di ciò che avvenne nell'Alvernia dal principio dell'epoca eocenica fino a noi. Non posso dispensarmi dal riprodurlo, quale è delineato da Lyell (*Manuel*, II, pag. 357).

Il granito n.° 1, forma la base del paese. Siccome nessun indizio lascia supporre l' intervento del mare in quella regione, così il rilievo del granito era già formato all'epoca a cui rimonta la sua storia geologica, che si può desumere dal confronto tra le rocce sedimentari e le vulcaniche. L' Alvernia era una regione di laghi, scavati nelle antichissime rocce cristalline, imitando, a piccola scala, la regione dell' Huron e, in genere, la gran regione de'laghi del Nord-America.

Sul fondo di que' laghi si accumularono i depositi lacustri n.° 2, ove non si scopre indizio di prodotti vulcanici. La porzione inferiore di quei depositi n.° 2, consta di conglomerato di ciottoli arrotondati di quarzo, di gneiss, di granito.

Sui conglomerati giacciono i calcari e le marne calcaree e argillose n.° 3, ricche

Digitized by Google

di conchiglie e di ossami di mammiferi appartenenti all' *Eocene superiore*. Gli strati più elevati alternano, qualche volta, con tufi vulcanici. L'azione vulcanica ebbe dun-

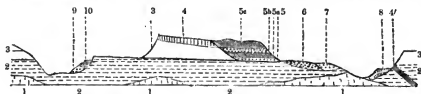



Fig. 31. — Spaccato dalla valle della Couze a quella dell'Allier nell'Alvernia.

1 Granito costituente la base dei terreni dell'Alvernia.
2 Conglomerati di quarzo, granito, gneiss.
3 Calcari e marne d'acqua dolce alternanti con tufi vulcanici: fossili dell'eocene superiore.
4 Piattaforma di basalte. — 4' Dicco di Basalte.
5 Sabbie ocracee.
5ª Brecce o conglomerati tufacei con frammenti di trachite.
5ᵇ Sabbie alluvionali come il N. 5.
5ᶜ Detriti vulcanici come il N. 5a.
6 Alluvioni.
7 Alluvioni più recenti.
8 Talus di frantumi basaltici con animali d'epoca glaciale.
9 Alluvioni con animali identici o prossimi ai viventi.
10 Corrente di lava del cratere Puy Tartaret.

que principio sulla fine dell'eocene superiore. Quando il deposito n.º 3 era compito, sopravvenne una forte eruzione basaltica. Il basalte n.º 4 si distese, a guisa di piattaforma, sui sedimenti eocenici. Il dicco n.º 4' è uno dei tanti che lasciano scoperte le vie, per cui il basalte venne di sotterra, senza alterare il rilievo del suolo, senza produrre sollevamenti di sorta. Non di rado si incontrano gli ossami fossili nei punti di contatto tra il basalte e gli strati n.º 3. Dalla formazione dei rilievi vulcanici, contemporanei al basalte n.º 4, datano, evidentemente, quelle correnti che dovettero incidere mano mano i depositi vulcanici, quindi i lacustri n.º 3 e n.º 2, fino al granito, lasciando sui fianchi delle valli, da loro stesse escavate, diversi depositi alluvionali, sui quali si legge continuata la storia geologica di quella contrada. Prime a formarsi furono le alluvioni n.º 5. Due depositi, puramente alluvionali, n.º 5 e 5ᵇ, alternano con altri due di brecce trachitiche, n.º 5ª e 5ᶜ, che hanno l'impronta di alluvioni vulcaniche. Nei due letti di vera alluvione si scoprirono circa 40 specie di mammiferi: mastodonte, rinoceronte, tapiro, daino, castoro. Lyell è in dubbio se riferir debbansi piuttosto al miocene che al pliocene. Io propenderei a ritenerli miocenici. Infatti, erosi anche i depositi n.º 5, si formarono le alluvioni n.º 6 e 7, ricche di ippopotami e di altri ossami, che potrebbero riferirsi al pliocene. Più basso, quindi più tardi, trovasi il *talus* n.º 8, a frantumi basaltici e calcarei, ove Bravard e Pommel raccolsero altri mammiferi. Misti agli ossami di cervo, renna, cavallo, bue, antilope, gatto, cane, vi si scoprono gli avanzi dall'*Elephas primigenius* (Mammouth) e del *Rhinoceros tichorinus*, i due grandi prototipi del postpliocene, cioè dell'epoca glaciale. In un tufo incassato tra due correnti di lava, dipendenti dai vulcani del Velay, riconosciute posteriori all'eocene, scoprironsi il *Rhinoceros leptorhinus* e la *Hyaena spelaea*. Abbiamo

già veduto come il *R. leptorhinus* caratterizzi in Europa la fine del periodo glaciale (*Parte prima*, § 549).

Ancora più recente ci sembra l' altro letto ad ossami n.° 9, che scopresi nella valle della Couze, dove si raccolsero almeno 43 specie di mammiferi: porco, bue, cervo, gatto, cane, martora, talpa, sorcio, lepre, scojattolo, ratto, *Lagomys*. Tutte si approssimano a specie viventi, benchè notisi nella maggior parte alcuni punti di differenza. Ai mammiferi si associano rane, serpenti, uccelli e conchiglie terrestri. Quest' ultime appartengono a specie viventi. *Cyclostoma elegans*, *Helix hortensis*, *H. nemoralis*, *H. lapicida*, *Clausilia rugosa*. Siam giunti dunque probabilmente al periodo antropozoico; ma nessun monumento lo attesta. Ciò che è certo si è che, in epoca così recente, l'attività dei vulcani dell' Alvernia non era cessata. Una corrente di lava n.° 10, uscita dal cono di Tartaret, copre quel letto a ossami. Alla corrente si appoggia un ponte romano, che vuolsi datare dal secolo V. Fra l'epoca della corrente e il secolo V operossi quindi lo scavo della valle della Couze. Anche nel supposto che la corrente dati dal periodo antropozoico, abbiamo ancora più migliaja di anni, in cui poteva a tutt'agio operarsi lo scavo della valle. Lyell, parlando del Puy de Dôme, altro cono vulcanico intatto dell' Alvernia, osserva come il torrente Sioule, che si è scavato un passaggio attraverso una poderosa corrente di lava, sgorgata da quel cono, riesce ciascun inverno a scalzare alcune colonne di basalte che trasformansi poi in ciottoli e sabbie. Lo stato di perfetta integrità del cono di Tartaret, composto di sabbie e di ceneri, benchè sia, al pari del *Puy de Dôme* e di molti coni dell'Avernia, un monumento della diuturna persistenza dei coni vulcanici, non lascia però di accusare una data relativamente assai recente.

Conchiudendo, il confronto delle formazioni vulcaniche colle sedimentari, limitandoci tra la valle della Couze e la valle dell' Allier, mostra come i vulcani dell'Alvernia incominciarono sulla fine dell'eocene superiore, e persistettero probabilmente attivi fino al principio del periodo antropozoico. E la cosa è tanto più probabile, in quanto vedremo più tardi non essere insostenibile che i vulcani dell' Alvernia abbiano avute delle eruzioni recentissime, e appunto nel secolo V.

Le stesse conclusioni, presso a poco, si deducono dall'analisi degli altri due gruppi della Francia centrale, del Velay e del Plomb du Cantal. Il gruppo, o piuttosto il gigantesco vulcano del Cantal, non sorse che dopo la formazione del calcare d'acqua dolce (*Eocene superiore*) di cui incluse i frammenti. Solo talora la miscela accidentale di materie vulcaniche negli strati d'acqua dolce accusa l'eruzione d'altri vulcani vicini.

Digitized by Google

XIII. Vulcani azoici, paleozoici e mesozoici.

Povertà di documenti, 427. — *Vulcani azoici*, 428-430. — *Vulcani paleozoici*, 431. — *Natura delle lave paleozoiche*, 432-434. — *In genere sono sottomarine*, 435. — *Prove dedotte dalla forma ad espandimento dei graniti*, 436-438. — *Vulcani cambriani in Europa*, 439. — *In America*, 440. — *Vulcani siluriani*, 441. — *In Inghilterra*, 442, 443. — *In altre regioni*, 444. — *Vulcani devoniani in Inghilterra e Scozia*, 445. — *La catena del Pentland*, 446. — *Altre regioni dell'Europa*, 447. — *Vulcani carboniferi in Inghilterra*, 448. — *In Scozia*, 449. — *Attività vulcanica in Germania*, 450. — *I melafiri*, 451, 452. — *Le Alpi*, 453. — *Nord-America*, 454. — *Vulcani permiani nelle Isole Britanniche*, 455. — *Germania*, 456. — *Vosgi, Alpi e Prealpi*, 457-459. — *Vulcani triasici*, 460. — *Inghilterra*, 461. — *Germania*, 462. — *Lombardia*, 463, 464. — *Nord-America*, 465. — *Il Giura e la creta come periodi di riposo*, 467. — *Serpentini infraliasici de' Vosgi*, 468. — *Porfidi infraliasici di Lombardia*, *e liasici nelle Alpi*. 469. — *Trapp oolitici delle Ebridi e graniti di California*, 470. — *Indizî di vulcani nella creta*, 471. — *Serpentini dell'Appennino*, 472. — *Doleriti degli Euganei*, 473. — *Graniti ritenuti cretacei*, 474. — *Vulcani cretacei del Sud America*, 475. — *Si lamenta di nuovo la povertà de' documenti*, 476.

427. Visto su quali elementi può fondarsi una cronologia endografica, dobbiamo passare a stabilire, come abbiam fatto pei terreni sedimentari, la serie cronologica dei terreni eruttivi. Ma pur troppo dobbiamo deplorare la maggiore scarsità di elementi, per rifare anche questa parte della storia della terra. In nessun trattato generale di geologia, benchè a spizzico, vi si raccolgano dei dati cronologici, non trovo alcun serio tentativo di una cronologia endografica. Anche le migliori carte geologiche attestano la povertà della scienza in proposito. In fatti pei terreni sedimentari i colori indicano l'epoca di essi terreni: pei terreni eruttivi invece indicano la natura mineralogica. Eppure, per essere coerenti, come si notano cogli stessi colori la *creta bianca* e il *Quadersandstein*, bisognerebbe indicare collo stesso colore il granito e il porfido,

Digitized by Google

quando uguale ne sia l'epoca. La ragione di fare così sta nella impossibilità di fare altrimenti; perchè poco o nulla si raccolse finora circa la cronologia delle rocce eruttive; ed ecco quindi come le carte sono geologiche pei terreni sedimentari, e geognostiche o litologiche pei terreni eruttivi. Raccogliendo quanto ho potuto, in base ai principî esposti, vedrò di potervi presentare almeno una serie di eruzioni, coordinata alla serie dei terreni sedimentari. Più che le parti riempite, saranno vaste le lacune; ma valga il presente capitolo come un primo tentativo, che potrà aver in seguito un esito migliore.

428. A quale epoca rimontano le prime rocce eruttive?... Non siamo più a quel tempo in cui alla serie dei terreni sedimentari si fabbricava un sottostrato granitico, il quale rappresentava la prima pellicola consolidata del globo, ovvero, secondo le idee delle diverse scuole, i primi sedimenti in un mare primitivo, nel primitivo vigore dell'attività chimica. Fin dal primo momento in cui ci compajono i graniti, noi li troviamo già od injettati, od interstratificati nei terreni sedimentari. Noi non riconosciamo finora rocce eruttive che sotto duo forme: quella del dicco, e quella dell'espandimento sottomarino o subaereo. I primi graniti che noi conosciamo, ebbero già una crosta terrestre da traforare, e questa composta da strati sedimentari.

429. Molti graniti certamente appartengono all'epoca azoica, o meglio a quel lungo periodo della primitiva probabile animalizzazione che noi abbiamo detta *laurenziana*. Vi ricorderete come il gruppo laurenziano nel Canadà presenti uno spessore di 10000 metri, e consti di gneiss, di graniti, di serpentini, a cui si associano dei calcari: e come il gruppo superiore od *huroniano* consti di schisti silicei, di quarziti, di arenarie, di conglomerati grossolani a ciottoli di gneiss e di sieniti, con dioriti o calcari, formanti un complesso di 5500 metri di spessore (*Parte seconda*, § 920-921). Le rocce cristalline, del pari che le rocce sedimentari, accusano un vulcanismo attivissimo e persistente. Riflettendo bene, tutta quell'enorme massa della potenza di 15,500 metri risulta, escludendone i calcari, di rocce eruttive o rimaste quali erupperò, o demolite e converse in sedimenti dagli antichi mari. Or bene, lo spettacolo che ci presenta il Canadà nella grand'epoca laurenziana è riprodotto da tutte le grandi regioni del globo. Al di sotto di quegli strati, ove appare la fauna detta primordiale, noi troviamo dovunque uno spessore enorme di altri terreni, in genere stratificati, ma di natura cristallina, a cui si associano rocce massicce, cristalline composte, con tutti i caratteri delle rocce eruttive. Attendiamo di dar ragione più tardi del come quegli antichi terreni, cui in massa riconosciamo come sedimentari, abbiano assunta la natura cristallina, fin quasi a confondersi colle rocce eruttive. Ma intanto noi vi riconosciamo già masse poderose di terreni di eruzione, e queste, badate bene, di diversa natura. Predomina il gneiss, che si crede da alcuni terreno sedimentare metamorfosato, da altri un sedimento primitivo dovuto all'attività chimica del mare, e da altri finalmente una primitiva crosta prodotta dal consolidamento del primitivo liquido incandescente. Mi riservo più tardi di addurre i titoli per cui io novero il gneiss tra le rocce eruttive. Dirò intanto come, se i gneiss trovansi spesso alla base dei terreni, altre volte invece si scoprono ben alto nella serie paleozoica. La cosa è tanto vera che Naumann dovette distinguere un gneiss primitivo (Urgneiss-formation) da un gneiss più recente (neüe Gneiss-und-schieferbildung). In fatti in Sassonia distinguonsi due potenti giacimenti di gneiss, con micaschisti, schisti anfibolici e rocce granitiche tra gli strati siluriani ed il carbonifero. Nell'alta Franconia una enorme massa di gneiss di 8 miglia quadrate tedesche riposa sugli strati devoniani e le si associano serpentine, schisti anfibolici, micaschisti, anfiboliti, ecc. In Norvegia i gneiss

hanno sviluppo enorme e coprono gli strati siluriani. Nella Scozia abbiamo dei gneiss primitivi, i quali sono ricoperti dai conglomerati, dalle quarziti e dai calcari del periodo cambriano: su questi si adagia un'altra formazione cristallina, ove ai gneiss si associano micaschisti e clorito-schisti, e solo al di sopra si scoprono gli strati del siluriano inferiore. Per maggiori particolari ricorrete a Naumann (*Lehrb.*, II, pagine 156-166).

430. Coi gneiss troviamo graniti, serpentini, dioriti e fin de' porfidi. Naumann accenna infatti i porfidi nei terreni cristallini antichi. Generalmente vi si trovano in forma di dicchi, e quindi appartengono ad epoche più recenti. Talvolta però si presentano come espandimenti interstratificati; il che si avvera in Inghilterra, ove sono interstratificati agli schisti primordiali. Nell'epoca laurenziana dunque, come fu un periodo d'immensa durata, così vi ebbero luogo reiterate e poderose eruzioni, e la diversità dei prodotti eruttivi accusa già un gran numero d'interne rivoluzioni, per cui si rimutarono le interne condizioni del globo. Ed a tale rimutamento doveva corrispondere, come nelle epoche più recenti, una serie di rivoluzioni esterne. Ma la mancanza delle faune e delle flore non ci permette di sancirle; per cui quell'epoca antichissima rimane ancora involta nelle tenebre più fitte.

431. Avanzandoci nell'epoca paleozoica, la serie numerosa e brillantissima delle faune, come ci permise di distinguere i terreni, così dovrebbe renderci facile la determinazione geologica delle rocce eruttive. Se invece la cosa ci riesce difficilissima, non abbiamo, come dissi, che ad incolparne l'immaturità della scienza. Abbiamo già detto come i gneiss, con altri terreni cristallini, si continuino nell'epoca paleozoica; ora affermiamo come i terreni eruttivi affermino anche in quest'epoca un vulcanismo attivissimo in tutte le regioni del globo. Se guardiamo all'Europa, noi troviamo come una gran parte della Germania, dell'Inghilterra, della Norvegia, in fine delle regioni settentrionali dell'Europa, era in preda a continui parossismi vulcanici. Ce lo provano, oltre i graniti e le serpentine, le rocce pirosseniche (Grünstein) che troviamo così sovente interstratificate ai terreni sedimentari. Mentre la forma di semplici espandimenti, alternanti a più riprese cogli strati sedimentari, ci assicurano che i vulcani d'Europa erano in genere sottomarini; i tufi, le brecce, le ceneri, contenenti talora dei fossili, e risultanti o dalla immediata dejezione, o dalla demolizione di coni insulari, ci attestano l'esistenza in quell'epoca di vulcani subaerei.

432. Le rocce eruttive dominanti in quest'epoca sono ancora i gneiss ed i graniti. Ma ci troviamo anche i serpentini. Il serpentino, per esempio, del distretto di Lizard in Cornovaglia, è paleozoico, essendo trapassato da vene di un granito, che si ritiene uscito dopo il periodo carbonifero (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 435). Eruzioni serpentinose ebbero luogo anche sulla fine dell'epoca paleozoica, come sembrano indicarlo i dicchi che, secondo Lyell, attraversano l'*antico grès rosso* (devoniano) nel Forfarshire, e quelli che presso Sagradia, nel Banato, si spingono, secondo Kudernatsch, attraverso gli strati carboniferi, mentre altrove, nello stesso Banato, il serpentino si scopre e sopra e sotto il carbonifero (Naumann, *Lehrbuch*, II, pag. 433).

433. I Grünstein sembrano trovare nell'epoca paleozoica il loro regno. Dobbiamo avvertire come questo nome fu convenzionalmente abusato, per indicare tanto le rocce a pirosseno, come quelle ad anfibolo. La difficoltà di distinguere a colpo d'occhio i due minerali, ha fatto sì, che i geologi facilmente si adagiassero ad un nome generico, che comprendesse tutte le rocce, in cui o l'uno o l'altro dei due minerali entrasse come elemento costitutivo. Per la stessa ragione non si può sempre aquetarsi ai nomi generici, frequentemente usati, di *rocce anfiboliche* e di *rocce pirosseniche*, scambian-

dosì facilmente le une per lo altre. Per quanto mi consta sarebbero a preferenza le rocce anfiboliche, cioè le dioriti, che predominano nelle epoche paleozoiche. Ciò almeno si verifica nelle Alpi, ove hanno immenso sviluppo (*Parte seconda*, § 221).

434. Anche i porfidi non furono stranieri all'epoca paleozoica. Lo attestano le regolarissime masse interstratificate, ed alternanti coi calcari saccaroidi, nel fitto della serie cristallina, sopra Santa Caterina di Bormio. Ciottoli di porfido includono pure le puddinghe quarzose di Bondione, in Val Seriana, inferiori agli schisti neri, che vi rappresentano indubbiamente l'epoca carbonifera. La regione delle Alpi, del resto, mostra immenso sviluppo di protogini, di graniti, di serpentini, e sopra tutto di dioriti, le quali vi sfoggiano tutte le più ricche varietà, dalle porfiroidi, formate di un puro aggregato di cristalli, alle cripto-cristalline, ove la miscela dei cristalli di anfibolo e di feldspato è resa visibile da una tinta grigia quasi uniforme.

435. Trattasi in genere di eruzioni sottomarine, come eminentemente sottomarini sono i depositi sedimentari dell'epoca. La forma ordinaria è quella dell'espandimento interstratificato. Abbiamo già riportato l'esempio delle grandi masse granitiche del Tirolo meridionale (§ 335), per cui risulta splendidamente dimostrato come essi graniti costituiscano delle colossali masse stratiformi, le quali furono, unitamente agli strati sedimentari, sollevate e contorte in una serie di curve sinclinali ed anticlinali. Credo bene però di qui riferire alcuni altri fatti in prova di una tesi così fondamentale.

436. Naumann, mentre sostiene che in qualche caso gli strati presentano una inclinazione quaquaversale, e fanno mantello al granito, e furono perciò sollevati da esso, non manca però di proclamare come *regola generale* l'indipendenza degli strati dalle masse granitiche; di dire che non di rado gli strati conservano tutto all'ingiro della massa granitica la stessa inclinazione e direzione, quasi il granito non esistesse; indizio, anche per lui, che le formazioni avevano già acquistato la loro posizione stratigrafica, prima che il granito comparisse. Cita come esempî diverse località di Sassonia e dell'Harz e del Wales, osservando come in quest'ultima regione l'andamento degli schisti è così regolare, ad onta del granito che vi si frappone, che Marshell l'ebbe come indizio sicuro della origine sedimentare-metamorfica del granito (*Lehrb.*, II, pag. 219). Talora il granito si presenta in masse lenticolari, intercluse nelle altre formazioni in guisa tale, da mostrarsi originato da piccoli espandimenti. Altre volte invece hanno forma di espandimenti enormi, che coprirono vastissime estensioni, originati probabilmente da parecchi orifizî eruttivi. Il più vasto espandimento che si conosca in Europa è quello della Russia meridionale, che si distende da Brody, tra il Bug e il Dnjeper, fin verso Taganrog, coprendo un'area di 4000 miglia tedesche.

437. Tali espandimenti si vedono talora con tutta evidenza distendersi a guisa di tetti, o di drappi, sulle formazioni sottoposte; non altrimenti che le correnti di lava sottomarine debbono distendersi sul fondo del mare. Naumann raccoglie molti esempî in proposito, riportati da diversi autori (*Lehrb.*, II, pag. 222 a 225). Così, secondo De Buch, il granito ricopre i micaschisti di Roichonstein, Vollmersdorf, Itaasdorf: così nell'isola Mihau (Dep. des Côtes du Nord) il granito, appena inclinato, si distende sopra gli schisti argillosi fortemente inclinati: così il granito di Huelgoat (*Finistère*) copre, a mo' di corrente, gli strati siluriani: così in più luoghi altrove. Ma gli esempî più classici sono offerti dai graniti di Siberia, descritti da Humboldt e da Rose, e da quelli di Norvegia, di cui occupossi Keilhau. Le sponde dell'Irtysch, tra Buchtarminsk e Ustkamenogorsk, constano di schisti argillosi primitivi, sollevati quasi alla verticale (da 60° a 80°). Quella massa schistosa termina superiormente

Digitized by Google

con una superficie irregolare, assai ondulata, come un piano che abbia subito considerevoli degradazioni. Il granito si adagia sugli schisti, formando un gran banco, quasi orizzontale, adattandosi però inferiormente a tutte le ondulazioni, come avrebbe fatto una corrente di lava, che vi si fosse distesa e modellata.

438. Lo stesso fenomeno si ripete tra Hardanger e Hallingdal in Norvegia, ove si eleva una montagna a guisa di colossale piattaforma, formata alla base di schisti argillosi, sollevati fino a 60°, sovra cui si distende una massa granitica, dell'enormo spessore di 1200 piedi, emulando i più classici espandimenti di trapp, o di basalte.

Ma veniamo a ciò che riguarda più specialmente i diversi periodi nei quali è divisa l'epoca paleozoica.

439. Agli strati cambriani superiori della Galles del nord (*Parte seconda*, § 901) si associano enormi masse di porfido, di conglomerati trappici, e d'altre simili rocce, che dal professore Sedgwick si ritengono contemporanei a que' sedimenti. Zone di porfido feldspatico si incontrano pure nel cambriano inferiore, ossia nel *gruppo di Bangor* (*Parte seconda*, § 903). Sedgwick indica pure diverse rocce trappiche, le quali accompagnano gli schisti verdi filladici, somiglianti agli *schisti di Arenig* (*Parte seconda*, § 901), e stanno alla base delle formazioni nel Cumberland. Quei trapp sono di natura feldspatica o porfirica. Vi si notano anche dei *greenstones*, in dicchi od in letti interstratificati, o concordanti cogli schisti. Quanto all'età dei dicchi non è sì facile il fissarla. Si osserva però che nella Galles i dicchi di *Greenstone* non penetrano mai nel *siluriano superiore*, sicchè debbonsi riportare, se non al *cambriano*, almeno al *siluriano inferiore*. Quanto ai letti interstratificati essi sono indubbiamente *cambriani*. Talvolta anzi si rimarca un passaggio tra le rocce ignee e gli schisti verdi quarzosi. Gli schisti cloritici, che si incontrano in quella formazione, sarebbero contemporanei alle masse porfiriche; anzi ripeterebbero da queste una parte degli elementi, di cui sono costituiti (Lyell, *Manuel*, II, pag. 376). Queste idee di Sedgwick pajonmi assai meritevoli di considerazione. Molti strati antichi, d'indole cristallina, sono, il vedremo più tardi, il risultato d'un vero metamorfismo. Ma molti anche si riconosceranno, non ne dubito, originati dagli antichi vulcani, o come prodotti di immediata dejezione detritica, o come risultato d'erosione marina, esercitata sulle antiche dejezioni vulcaniche. Certi schisti cloritici, micacei, talcosi, certe rocce serpentinose, steatitose, certe pietre ollari, così abbondanti nelle nostre Alpi, non potrebbero essere o ceneri vulcaniche, o fanghi prodotti dal rimestamento di materie vulcaniche?

440. I vulcani, che in quelle epoche antichissime ardevano in Europa, non erano spenti in America. Il *Manual* di Dana (pag. 194) ci informa come poderose eruzioni vi ebbero luogo coll'apparizione di quella fauna primordiale, che ha reso tanto interessante il *gruppo di Potsdam* (*Parte seconda*, § 906). Nella regione cuprifera del Lago superiore, a Keweenaw-Point, le arenarie del Potsdam alternano con rocce trappiche, entro uno spessore complessivo di 3000 a 4000 piedi. Alcuni conglomerati risultano, a quanto sembra, da agglomerazioni di scorie vulcaniche, e si assomigliano per bene ai tufi dei moderni vulcani. I frammenti non sono nemmeno arrotondati, per cui danno luogo a supporre accumulamenti per dejezione immediata di vulcani subaerei, insulari od appena sottomarini. Si distinguono anche vere correnti od espandimenti di lava, in forma di colonnati basaltici. Queste eruzioni furono accompagnate, secondo Dana, dalla comparsa del rame nativo, prodotto probabilmente da sublimazioni, che lo deponevano in vene regolari sulle linee di contatto tra le arenarie e i trapp. Appartengono a quegli antichissimi depositi quelle portentose masse di rame nativo, che misurano fin 40 piedi di lunghezza, o pesano 200 tonnellate. Gli si asso-

cia l'argento nativo, e fanno scorta ai trapp quei minerali amigdaloidali, che si accompagnano così sovente alle rocce eruttive, cioè le zeoliti, le calciti, il quarzo, ecc. Il signor Richthofen (*Mittheil. v. d. Westküste Nord-America*, Zeitschr. d. Geol. Gesell. 1868) descrive come sviluppatissimi sui Rio Colorado e nelle Montagne rocciose, il granito, coperto da formazioni paleozoiche.

441. L'epoca siluriana, se è splendida per lo sviluppo straordinario dei regni organici, non lo è meno per l'attività vulcanica, a giudicarne dal poco numero dei fatti che si poterono finora raccogliere e ordinare. In America, tuttavia, si direbbe che il vulcanismo tacesse per dar luogo allo sviluppo di quelle ricchissime faune, le quali si succedettero, per un tempo smisuratamente lungo, su quei fondi marini, ove si depositarono tanti strati, per lo spessore di parecchi chilometri. Io credo però che gli studî successivi trarranno in luce que' vulcani, i quali anche là dovevano essere l'indubbia conseguenza di tante oscillazioni, per le quali tante volte rimutaronsi e i fondi marini ed i loro abitatori.

442. In Europa abbiamo invece gl'indizî di un vulcanismo attivissimo. La *Siluria* di Murchison ci mostra in fatti quanta parte presero i vulcani alla costituzione dei terreni siluriani d'Inghilterra. Nel periodo del *siluriano inferiore* i vulcani vi manifestarono una straordinaria energia. Le loro dejezioni disputarono cogli strati sedimentari l'occupazione del fondo di quegli antichi mari. I terreni già formati erano intanto attraversati da masse eruttive, le quali agivano energicamente sulle rocce preesistenti, metamorfizzandole, ed intrecciandovi vene minerali. Gli *strati del Llandeilo* (*Parte seconda*, § 882) sono ricchi tanto di rocce ignee come di minerali. Le rocce ignee sonvi spesso interstratificate ai terreni sedimentari. Murchison segnala il fianco occidentale delle *Stiper Stones*, come quello dove si osservano molti esempî di ceneri feldspatiche interstratificate, e osserva come a Booc-Mine le vene minerali attraversano un gran numero di sottili letti di ceneri, interstratificati agli schisti contenenti trilobiti e graptoliti. Sopra uno spazio di circa un miglio si possono contare fin 17 strati vulcanici, ed alcuni di essi si possono segnire per circa 4 miglia. Essendo meno erodibili degli schisti siluriani, quegli strati vulcanici si mostrano a nudo a guisa di muraglie prominenti. Bellissimi strati vulcanici si osservano nella pittoresca gola di Manington-Dingle. Qui gli strati inferiori constano di roccia feldspatica a struttura concrezionale, ricoperta da grès vulcanici grossolani, o diremo da sabbie e lapilli. Constano essi infatti di elementi a base di feldspato, con sabbia o clorite, e frammenti angolosi di schisti e di greenstone. Altrove, nell'istesso distretto, scorgonsi conglomerati feldspatici e schisti porfirici con cristalli di feldspato. Ma i frammenti di *Ogygia Buchii* vi rivelano la natura di un sedimento, di un tufo vulcanico sottomarino. Lo spaccato delle colline di Gelli offre uno splendido esempio della interstratificazione delle rocce vulcaniche, e della loro alternanza con rocce di puro sedimento. Sopra una base di roccia feldspatica, schistosa, porfirica, amigdaloide, regolarmente stratificata, si succedono altre rocce feldspatiche, euriti granulari, porfiriche, schistose, e porfidi euritici, alternanti regolarmente cogli schisti contenenti graptoliti e trilobiti.

443. Le colline di Breidden, sulla destra del Severn, offrono esempî di rocce ignee, tanto interstratificate, quanto injettate. Esse rocce ignee accennerebbero una serie di eruzioni che ebbero luogo durante il siluriano inferiore. Nei dintorni di Ffestiniog l'intervallo fra gli *strati a Lingula* (cambriano superiore) e certe ardesie nere, che potrebbero appartenere al siluriano inferiore, è occupato da sieniti, da grès e conglomerati vulcanici, che, altrove, nei dintorni, assumono l'aspetto di ceneri. Lo spaccato

del monte Cader Idris è forse il più opportuno per dare un' idea dell' alternarsi continuo in quell'epoca antichissima delle dejezioni vulcaniche sul fondo dei mari nella Galles del nord. Gli *strati a Lingula* riposano già sopra una massa di porfido, e alternano, in regolarissimi strati, con altri strati porfirici. Questo complesso di strati cambriani, vulcanici e sedimentari, è ricoperto da un altro simile complesso, appartenente al siluriano inferiore. Per ben otto volte, durante questo dopplo periodo, sul fondo dell' Oceano si dilagarono i porfidi, e tra l' una e l'altra eruzione lunghi intervalli di riposo, durante i quali si accumularono i sedimenti. Il monte Snowdon, sempre nella Galles del nord, mostra come le eruzioni continuarono fin verso la fine del siluriano medio, quando pure i dicchi, che le affermano, non siano da riferirsi ad epoca più recente. Le arenarie e gli schisti del cambriano, sollevati quasi alla verticale, sopportano, a stratificazione concordante, gli *schisti del Llandeilo* (siluriano inferiore) e le *arenarie e gli schisti inferiori di Caradoc* (siluriano medio) formando una sinclinale, che si continua con una anticlinale. Seguono, sempre concordanti, gli *strati* superiori fossiliferi *di Caradoc*. Negli strati inferiori di Caradoc s' incontrano ceneri feldspatiche e grès vulcanici interstratificati. Fin qui adunque pare che l' orizzontalità delle formazioni non fosse stata sturbata. Ma le oscillazioni incominciano; le crepature si determinano, e dicchi vulcanici si veggono attraversare i terreni siluriani, gli strati di Caradoc compresi.

444. Le eruzioni avevano luogo contemporaneamente in altre regioni d' Europa. Nel siluriano di Boemia Barrande segna due zone eruttive: l' una, costituita da porfidi, divide la *zona primordiale* (cambriano considerato da Barrande come siluriano inferiore) dal siluriano medio (inferiore e medio per noi); l' altra consta di greenstones, e divide il siluriano medio dal superiore.

445. Siamo all' epoca devoniana, e la scarsità dei documenti non ci permette di registrare eruzioni altrove che in Europa. In Inghilterra l' attività vulcanica, quasi stremata dalle copiose perdite fatte nell'epoca siluriana, non diede alcun sentore di sè durante l'immenso periodo in cui si deposero gli strati devoniani. Ferveva invece nelle parti meridionali della Scozia. Fra i Grampian e i monti Cheviots, il terreno devoniano è assai sviluppato, e diviso in tre gruppi, dei quali i due inferiori riboccano di rocce vulcaniche interstratificate. Il più basso dei tre gruppi, sviluppatissimo nel bacino del Cleyde, contiene presso Tinto grandiosi ammassi di conglomerato trappico, unitamente a rocce feldspatiche. Nella valle dell'Irvine a Lanfine i trapp feldspatici sono associati a schisti grigi, micacei, i quali contengono il *Cephalaspis Lyelli* (*Parte seconda*, § 859). I conglomerati trappici, le ceneri, e gli enormi interstrati di trapp porfirico, amigdaloide, sono associati agli strati del devoniano inferiore nelle colline dell'Ochill. Le stesse rocce poi si prolungano nella catena di Sidlaw nel Forfarshire. Le eruzioni continuaronsi nel devoniano medio, sicchè le colline di Pentland constano di arenarie verdastre e conglomerati, con letti di cenere, e strati enormi di rocce feldspatiche. Il tutto riposa discordante sugli strati fortemente inclinati del siluriano superiore e del devoniano inferiore. Nè il vulcanismo ebbe tregua durante il devoniano superiore. Il signor Geikie trova che nella Scozia c' è discordanza tra il devoniano inferiore ed il superiore. Il superiore invece concorda col calcare carbonifero. Avrebbero dunque avuto luogo profondi turbamenti tra i primordî e la fine dell'epoca devoniana. Conseguenza di tali turbamenti sarebbero le eruzioni, per cui enriti, ceneri, grès vulcanici a pasta feldspatica s' interstratificarono ai sedimenti del devoniano superiore. Sono le colline di Pentland quelle che segnano il centro, ove un grande vulcano, od un gruppo vulcanico, ebbe poderose eruzioni di lave e di ce-

neri: quei vulcani arsero fino all'alba dell'epoca carbonifera, con cui l'epoca devoniana sembra fondersi gradatamente in quei luoghi (*Transact. of the R. Soc. of Edinburg*). Lo spaccato delle colline di Pentland è dato nella *Siluria* di Murchison. Vi si vedono in fatti gli strati del siluriano superiore e del devoniano inferiore sollevati fin quasi alla verticale. Sulle testate di quelle antiche formazioni si distendono gli strati del devoniano medio, i quali includono una poderosa massa di lava feldspatica. Seguono gli strati del devoniano superiore a cui sono concordemente sovrapposti gli strati carboniferi. Negli strati del devoniano superiore sono pure intercalati ceneri e conglomerati vulcanici, come lo afferma Ramsay nel suo prezioso *Catalogo delle rocce del Museo di geologia pratica (Descriptive Catalogue*, ecc. London, 1862).

446. Lo stesso autore cerca di darci un'idea delle vicissitudini, a cui andò soggetta la Scozia in quei remotissimi tempi, quando si alternava su quell'area la dominazione del mare con quella dei vulcani. Ogni letto di eurite, dice egli, rappresenta una corrente di lava. Gli strati di cenere, che separano gli strati euritici, indicano le pioggie di lapilli, che tennero dietro alle dejezioni di lava. Gli sprazzi di conglomerato segnano i periodi di riposo, durante i quali le onde marine, scalzando le lave, ne fabbricarono ghiajo grossolane o fanghi feldspatici. Le colline del Pentland narrano così la propria storia. Durante il periodo devoniano, dal mare disteso sopra l'area del Pentland sorgeva un Arcipelago, e gli scogli râsi e frantumati si sfacevano in ghiaje e sabbie distribuite sul fondo marino. Sono esse infatti quei conglomerati, quei grès, che orlano l'estremità meridionale della catena pentlandica. Quando gl'intervalli fra isola e isola furono pressochè colmati, e le isole stesse demolite, la bocca di un vulcano si spalancò verso l'estremità nord della catena, e riversò due correnti di lava. Segue una pausa; l'Oceano riprende il suo lavoro di demolizione, e le stesse correnti di lava gliene prestano gli elementi, che, misti al detrito arenaceo delle isole, furono distesi in forma di strati di arenaria e di conglomerati. Una nuova e poderosa serie di eruzioni originò quella massa di lave feldspatiche, i cui residui, dopo tanto volgere di secoli, sorgono in forma di una catena di colli, della lunghezza di 5 miglia. Un altro banco di grès e conglomerato attesta un nuovo periodo di riposo. Una nuova corrente di eurite cristallina oscura ricopre gli strati sedimentari, e rivela un nuovo parossismo vulcanico, seguìto da una pausa, accusata dai soliti conglomerati, che vennero, in seguito ad una quarta eruzione, coperti da una lava, la quale corse per 10 miglia da nord a sud Alla dejezione della lava tien dietro un diluvio di ceneri, ed a questa una enorme corrente di eurite, leggera, violacea, che corona al presente i più alti picchi della catena. La superficie superiore della corrente è coperta di ceneri, a cui si sovrappongono diverse lave cristalline, oscure, vescicolari, che affermano una serie di eruzioni, e furono le ultime, di questo vulcano, o di questi vulcani, del periodo devoniano. Qui comincia un lavoro di depressione, per cui, sopra quei terreni, che andarono sempre più sommergendosi, si accumularono le arenarie ed i calcari, entro cui si conserva la flora del periodo carbonifero. Si deve ad un processo di successivo sollevamento e di energica erosione, se una pila di strati, dello spessore di 5000 a 6000 piedi, fu abrasa interamente, e vennero poste a nudo le antiche correnti devoniane, e le isolette siluriane ancora più antiche, formanti ora quella serie di colline, che noi diciamo *Catena del Pentland*.

447. L'epoca devoniana segna un periodo di attività vulcanica in quasi tutta Europa. La *Siluria* ci informa come lungo il confine settentrionale dei terreni devoniani di Westfalia, a nord ovest di Brilon, esista un tratto di paese, ove le rocce eruttive sono copiosamente interstratificate ai terreni sedimentari. Quella località offre al tempo

stesso uno degli esempi più rimarchevoli di un totale rovesciamento di strati. Gli strati del carbonifero stanno infatti alla base delle formazioni, e sono ricoperti dalla serie dei terreni devoniani. Lo spaccato di Brilon presenta tre enormi interstrati eruttivi (porfidi, e greenstones) alternanti cogli strati del devoniano inferiore e superiore.

Al periodo devoniano potrebbero forse ascriversi i graniti di Cristiania, i quali, dice Naumann (*Lehrb.*, II, pag. 253), sono posteriori al periodo siluriano, mentre gli strati siluriani sono dal granito injettati. Indubbiamente poi vanno ascritte a questo periodo le rocce pirosseniche (*Grünstein*) che, nel Nassau, nel Voigtland, e nell'alta Franconia, alternano, in regolari espandimenti, cogli strati devoniani.

Nel periodo devoniano cadrebbe, secondo E. De Beaumont, il porfido bruno dei Vosgi. Devoniani sono assai probabilmente i porfidi rossi della Russia, sui quali si distendono, come attesta Marchinsck, i conglomerati, che stanno alla base del terreno carbonifero, ed ebbero origine dall'erosione dei porfidi. Consimili fatti rendono assai probabile l'età devoniana dei porfidi nei bacini carboniferi di Antun, e Pinac, Sincey, Littry, e doll'Harz (Naumaun, *Lehrb.*, II, pag. 712). Nella stessa epoca, o secondo lo stesso autore, si sarebbero formati le granuliti, i graniti ed i serpentini di Sassonia.

448. L'epoca carbonifera, classica sotto tanti rapporti, lo è pure per tanti indizi di attività vulcanica. In Inghilterra il vulcanismo continuava la sua lunghissima fase di riposo, o di debolissima attività, che abbiam veduto rimontare fino ai primordî dell'epoca devoniana. Il citato *Catalogo* di Ramsay parla tuttavia del *Toat-stone* come di una lava interstratificata nel calcare carbonifero del Derbyshire. È una lava cellulare, a cellule vuote, o riempite di spato calcareo, e d'altri minerali, in guisa da presentare l'aspetto amigdaloide. Anche nel Staffordshire incontransi tracce di rocce eruttive, che, sotto forma di dicchi di greenstone, traforarono gli strati ed i letti di carbone metamorfizzandoli. Potrebbero però essere d'epoca più recente. Contemporanei, od appena posteriori al periodo carbonifero, sarebbero anche i graniti del Devonshire e di Cornovaglia (Lyell, *Manuel*, II, pag. 411).

449. I vulcani continuarono invece, e crebbero forse di violenza, durante il periodo carbonifero nella Scozia. Se noi volessimo riportare i tratti che rivelano uno dei più brillanti episodî nella storia degli antichi vulcani, non faremmo che ripetere quanto abbiamo riferito in uno dei precedenti capitoli. Abbiamo veduto come le Ebridi interne e le regioni meridionali della Scozia, furono, durante l'epoca carbonifera, il teatro di ripetute potentissime conflagrazioni (§ 113). La sezione tra Bathgat e Borrowstonnes (§ 97, fig. 3) è un frammento il più istruttivo di quella cronaca interessantissima. Le ripetute alternanze di arenarie e di schisti, di letti di carbon fossile, di calcari, di lave e di ceneri, ci dicono come in quell'epoca la vita dei liberi mari, l'umida vegetazione delle maremme, ed i furori dei vulcani si alternassero del pari sopra quelle aree in preda a continue convulsioni. Abbiamo ammirato le foreste sepolte sotto la cenere nell'isola di Arran (§ 114); e siamo fin giunti a raccogliere dalle argille marine di Burntisland le bombe lanciate da quegli antichi vulcani (§ 116). Il signor Geikie osserva la differenza tra le lave dei vulcani devoniani e quelle dei vulcani carboniferi. I primi eruttarono lave molto feldspatiche, cioè euriti, porfidi, ceneri e lapilli feldspatici. I secondi invece produssero generalmente lave augitiche, cioè greenstones e basalti.

450. Un vulcano dell'epoca carbonifera ha forse formata l'enorme piattaforma di porfido di Ringerige in Norvegia. Quei porfidi riposano in fatti sopra le arenarie devoniane. Al periodo carbonifero potrebbero ugualmente riportarsi alcuni porfidi di

Digitized by Google

Sassonia, e più probabilmente ancora quelli di Altenbnrg, sui quali si distende, a strati orizzontali, il Rothliegende (permiano). Lo stesso dicasi dei porfidi del Thüringerwald, quando non siano ancora più recenti del carbonifero (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 681). Le eruzioni dei porfidi tra Oederan e Chemnitz cadono nel bel mezzo del carbonifero superiore, talmente che rimane distinto in due piani (*Op. cit.*, pag. 712). Appena appena posteriori sarebbero i porfidi di Flöha, tra Freiberg e Chemnitz, i quali, radicandosi coi loro dicchi nel carbonifero inferiore, s'interstratificano, in forma di espandimenti, nel superiore. Tutto in fine ci dice come il vulcanismo era attivissimo così in Germania, come nella Scozia. Il nostro pensiero corre già facilmente a quella serie maravigliosa di vulcani ardenti nelle isole dell'Oceano indiano. In un' epoca in cui il caldo clima, le umide maremme, le dense foreste, le isole, circondate da liberi mari, danno tutti gli elementi di confronto fra le regioni carbonifere d'Europa e gli arcipelaghi eqnatoriali, non manca nemmeno questo tratto caratteristico dei numerosi vulcani, per dar l'ultima mano al confronto, per cui risulta che gli arcipelaghi indiani sono il fedele ritratto dell'Europa nell'epoca carbonifera.

451. I giacimenti di melafiro, nella parte sud dell'Hunsrück, descritti da Decben (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 730), sono atti a dare un' idea della potenza delle eruzioni di melafiro, durante l'epoca carbonifera, e del modo con cui si avvicendavano, colle intestine convulsioni, i lunghi periodi di pace, per cui gli strati, che lentamente si formavano sul fondo marino, venivano d'un tratto coperti da poderosi espandimenti di lava, e questi alla lor volta, ricominciato il lavoro della sedimentazione, erano sepolti sotto più recenti strati. I melafiri di quella contrada si presentano in fatti sotto diverse forme.

1.° *Dicchi*, dello spessore di 4 a 40 piedi, regolarmente paralleli fra loro. Sono le crepature, attraverso le quali uscivano alla luce poderose eruzioni. Attraversano infatti bruscamente, o quasi verticalmente, gli strati della formazione carbonifera, seco strappandone i frantumi, talora metamorfizzandoli, mentre le rocce incassanti non portano ordinariamente nessuna traccia di metamorfismo. La struttura stratiforme del dicco, presso le salbande, mentre nel mezzo si divide in prismi, normali alle salbande stesse, accusa l'attività del getto lavico contro le pareti.

2.° *Interstrati* (Lager), della potenza di 5 a 200 piedi, e dell'estensione di migliaja di piedi fino a due miglia (tedesche). Giacciono regolarmente tra gli strati carboniferi, coi quali alternano, talora a brevi, talora a larghi intervalli, e formano colonnati normali al piano della stratificazione.

3.° *Piattaforme* o *tetti* (Decken). Una enorme piattaforma di melafiro, di molte miglia quadrate di estensione, copre ovunque regolarmente gli strati del carbonifero superiore, ed è ricoperta dal Rothliegende. È ancora, nel nostro senso, un enorme interstrato, che corrisponde ad un potente espandimento di lava, avvenuto tra il periodo carbonifero e il permiano. La ricchezza in amigdaloidi di quei giacimenti, e principalmente della piattaforma superiore, dice come quegli espandimenti avvenivano a profondità molto mediocri, per cui non era impedito alla lava di rigonfiarsi, stante la dilatazione del vapore.

4.° *Masse irregolari* (Stöcke), cioè alcune poche masse di melafiro, parallele agli strati, ma coi caratteri del dicco.

452. È vero che le eruzioni dei melafiri sembrano a Naumann (*Lehrb.*, II, pag. 733) coincidere per la maggior parte col periodo del Rothliegende od almeno colla prima metà del permiano. Ma siccome egli ritiene come intrusivi quei giacimenti, nei quali noi non possiamo veder altro che degli espandimenti sottomarini, così egli deve ri-

tenere come posteriori al periodo carbonifero molte masse eruttive che noi riteniamo contemporanee del nominato periodo. È da ritenersi ad ogni modo che i melafiri germanici dell' Hunsrück, del Thüringerwald, dell' Harz, della Slesia inferiore, della Boemia, della Sassonia, furono eruttati durante l'epoca carbonifera, o nella prima metà dell' epoca permiana.

453. All' epoca carbonifera appartengono probabilmente molte delle masse serpentinose delle Alpi. Almeno i serpentini delle Alpi francesi si troverebbero, secondo Scipione Gras, in dicchi ed ammassi entro i dominî del terreno antracitifero.

È probabile che all'epoca carbonifera siano pure da riferirsi molte masse granitiche delle Alpi. La cosa pare almeno dimostrata pei graniti del Tirolo meridionale. Risulta, infatti, come abbiamo già veduto, dagli studî di Suess come il granito di Cima d' Asta, ed i graniti di Brixen, ecc., formino un enorme espandimento, sostituito in quelle località ai sedimenti carboniferi, che in luoghi non lontani, per esempio, nell'alto Friuli, sono sviluppatissimi, e sottoposti agli schisti argillosi micacei, nei quali il signor Suess crede aver riconosciuto un equivalente del terreno permiano. In condizioni molto prossime a quelle dei graniti di Cima d' Asta, cioè entro la zona degli schisti cristallini, inferiore sempre alle arenarie variegate, si trovano i graniti di Valtellina, quelli dolla Val Camonica, ecc. Ma l' argomento è ancora troppo vergine di studî.

454. Il vulcanismo, conchiudendo dai pochi fatti che abbiamo potuto passare in rassegna, era dunque attivissimo in Europa durante quel lungo lasso di tempo in cui le pianure maremmane erano coperte di quelle dense foreste, conservateci talvolta, allo stato di carbone, sotto gli immani letti di ceneri vulcaniche. La parità di condizione, che è attestata pel Nord-America dalla singolare somiglianza di quei depositi carboniferi coi depositi contemporanei d'Europa, ci farebbe supporre di trovarvi ripetuti gli indizî del vulcanismo. Tuttavia io non potei trovar nulla a sostegno di un tale supposto. Si direbbe anzi che nel Nord-America le sconfinate maremme, che si andavano di continuo deprimendo, non trovassero una risposta nei vulcani, i quali pure avrebbero dovuto essere una conseguenza di quei movimenti, ripetuti ad intervalli, per sì lunga stagione. La scarsezza degli studî però non ci permette di decidere nulla in proposito. Trovo soltanto che Owen (*Geological survey of Arkansas*, pag. 32) potè scoprire nell' Arkansas gl' indizî di diverse eruzioni. Nelle vicinanze di Murfroesborough, nella contea di Pike, scopresi un' area occupata da greenstones porfirici, sopra una superficie di 150 a 200 yards. Un poco più lungi osservò un colle composto di una specie di roccia trachitica e di altre rocce feldspatiche, le quali hanno traforato le arenarie del *Millstone-grit* (carbonifero medio). Quelle rocce potrebbero dunque appartenere al carbonifero superiore. Osservò poi sulla sponda sud-ovest del fiume Ouachita delle rocce orneblendiche, con grandi lamine di mica, riposanti in concordanza sugli strati carboniferi; ma nulla di ben preciso in proposito, nè quanto all'origine, nè quanto all' età di quelle rocce.

455. Tornando in Europa, noi ci troviamo nell' epoca permiana, durante la quale il vulcanismo sembra piuttosto crescere che diminuire d' attività. Saranno forse da registrarsi, come abbiamo accennato (§ 448), in quest' epoca diversi graniti, quelli, per esempio, di Cornovaglia, del Devonshire e dell' isola d' Arran, i quali in Inghilterra eruppero a traverso strati carboniferi (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 250). Nella Scozia l'epoca permiana pare iniziarsi con poderose eruzioni vulcaniche. Le arenarie rosse del permiano dell'Ayrshire sono come raccolte entro un bacino lungo 6 miglia e largo 4. L' orlo del bacino è tutto all' ingiro costrutto di rocce ignee, di porfidi oscuri, rossi, co-

Digitized by Google

lor cioccolata, spesso assai scoriacei ed amigdaloidi, di conglomerati vulcanici grossolani, di tufi fini mescolati agli ordinari sedimenti arenacei del permiano. Queste rocce vulcaniche formano un enorme interstrato tra gli strati permiani ed i carboniferi. Si possono ancora osservare, dice la *Siluria* di Murchison, i canali, per cui i porfidi ed i tufi salirono attraverso agli strati carboniferi, metamorfizzandoli, e si espansero sul fondo del mare, ove vennero ricoperti in seguito dalle arenarie permiane. Geikie asserisce, che al periodo permiano vanno ascritte molte delle rocce eruttive che attraversarono il carbonifero nella valle centrale della Scozia.

456. I vulcani porfirogeni fervevano pure in Germania nei primordi del permiano. Le brecce, i conglomerati, i tufi porfirici, pigliano gran parte nella formazione del *grès variegato inferiore* (Rothliegendes), o come prodotti della demolizione di vulcani insulari, o come risultato di immediate dejezioni, o come correnti di fango vulcanico. Nel circolo di Lipsia si osserva un espandimento di porfido, che, intercluso nel *Rothliegende*, misura 20 miglia quadrate (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 699). Anzi quell'espandimento separa in due piani il *Rothliegende*, insinuandosi regolarmente tra gli strati superiori e gl'inferiori. Alla stessa epoca probabilmente appartengono i porfidi della Slesia inferiore e dell'Harz, salvo alcuni che nell'Harz sembrano rimontare ad un'epoca anteriore al carbonifero.

Potenti eruzioni ebbero pure luogo in Turingia durante il permiano. Per verità, osserva Murchison (*Siluria*, pag. 314), varie rocce d'origine ignea penetrarono nel Thuringerwald fin dai periodi antecedenti; ma è solo nel *Rothliegende* che ci vediamo circondati da porfidi contemporanei. Quei porfidi formano talora le vette più eccelse nella catena turingica, e tagliano ad angolo retto l'asse della catena, la quale è composta principalmente di strati anteriori a quelle eruzioni, ed appartenenti alle epoche siluriana, devoniana, carbonifera.

Il melafiro di Ilfeld è pure intercalato nel *Rothliegende*, e molti intercalamenti porfirici occupano lo stesso livello in Boemia e nei Carpazî (Naumann, *Op. cit.*, p. 629).

457. Come il principio, così fu salutata da poderose eruzioni la fine dell'epoca permiana. I porfidi della valle della Bruche nei Vosgi, di cui Daubrée descrive il grandioso espandimento, che occupa un'area di 48 chilometri quadrati, con colonnati superbi, giaciono tra il *Rothliegende* e il *grès de' Vosgi*, riferito all'*arenaria variegata*. Ma è nelle Alpi dove si direbbe veramente all'apogeo il vulcanismo in quest'epoca.

Abbiamo già parlato della celebre formazione porfirica del Tirolo, nota a tutti i geologi per la sua grandiosità, come pei molti studî, a cui ha prestato argomento. Essa misura, secondo Richthofen, una estensione di oltre 12 miglia quadrate, e costituisce una piattaforma dell'altezza di 4000 a 5000 piedi, formando, nelle regioni più meridionali, delle vette che si elevano fino a 9000 piedi. Abbiamo già veduto (§ 336) come risulti dagli studî di Suess, che esso porfido forma un colossale interstrato, distesa sugli schisti argilloso-micacei, riferiti al permiano, o ricoperto dalle arenarie di Gröden (*Grödnersandstein*). Esse arenarie si ritenevano da Richthofen come equivalenti del *grès variegato*; secondo Suess, esse sono, superiori ai depositi permiani, e comincia già forse con esse la serie triasica, la quale si eleva imponente sopra quell'immensa base di porfidi. Noto di passaggio come un interstrato di diorite, il quale nello *Spaccato* di Suess figura in mezzo agli schisti argillosi micacei, accusa un'eruzione la quale ebbe luogo verso la metà del periodo permiano.

458. Nelle stesse condizioni dei porfidi tirolesi si trovano, come già accennammo, i porfidi del lago di Lugano, formanti anch'essi un vario ed enorme interstrato tra gli schisti cristallini e le arenarie variegate del trias inferiore. Durante l'impressione

di questo foglio, una gita nei dintorni di Lugano, co' miei amici Negri e Spreafico, ci mise in grado di precisare ancor meglio l' età di quei porfidi. Gli schisti, per lo più talcosi, che sono ricoperti dai porfidi, potrebbero essere permiani nella loro parte superiore. V' ha di certo però che, ad una profondità relativamente mediocre, appajono i più sicuri indizî del periodo carbonifero. A Manno, rimontando l'Agno a un'ora circa da Lugano, si scopre una massa enorme di grès e di conglomerati a grossi ciottoli cristallini, principalmente di quarzo latteo, interstratificata agli schisti talcosi. Quella massa la trovammo straricca di tronchi di *Sigillaria*, *Stigmaria*, *Lepidodendron*, *Calamites*, infine d'una flora d'indole così carbonifera, che indubbiamente si deve ritèner carbonifero il deposito. Gli stessi schisti talcosi sono ricchi di materie carboniose, d'indole antracitica. Mentre i porfidi di Lugano si radicano con numerosi dicchi negli schisti, di cui intercludono numerosi frammenti, sono ricoperti, dissi regolarmente dalle arenarie variegate, le quali contengono porfidi, e molte volte passano al conglomerato porfirico e a veri tufi e ceneri porfiriche. Si osservano però anche dei dicchi porfirici, che attraversano le *arenarie variegate*, mostrando come le eruzioni si continuarono anche in periodi più recenti del trias inferiore, come vedremo attestato dalle Prealpi. Gl' interessanti particolari di questa formazione saranno consegnati alla già annunciata Memoria dei signori Negri e Spreafico.

459. Gli studî continuati sotto quel punto di vista con cui furono intrapresi da Suess, Negri e Spreafico avranno, non ne dubito, per risultato di dimostrare, come molte e molte di quelle masse porfiriche, disseminate nelle prealpi, talora in gruppi assai densi come nella Val Camonica, rimontano, o alla fine del periodo permiano, o al principio dell' epoca triasica. Il tutto accenna ad un' epoca di sfrenata attività vulcanica sottomarina, che cominciò sull' area delle prealpi, in Lombardia, nella Venezia e nel Tirolo, sulla fine del periodo permiano, e continuò durante l'epoca del trias, toccando fino all' infra-lias, come tosto vedremo. Anche i porfidi della valle del Tanaro, che sorgono sulle vicinanze di Ormea, sono in intimi rapporti col *verrucano* (arenaria variegata), dal cui seno essi sorgono, dice il Pareto, e dai cui aggregati sono accompagnati. Negli stessi rapporti stanno i porfidi del dipartimento dol Varo (*Descrizione di Genova*, pag. 127).

460. Venendo ora all'epoca triasica, non ci mancano estesi indizî di vulcanismo. Il carattere generale dei depositi triasici, in Europa del pari che in America, accenna a qualche cosa di molto eccezionale, a cui vanno attribuiti il coloramento, ossia il variegamento, di quelle rocce, l'abbondanza dei sali, e quelle condizioni, che rendevano così deleterî i mari triasici in generale. Si hanno argomenti per ritenere, come abbiamo veduto, l' esistenza di bacini interclusi, di regioni sahariane, ove si formavano sedimenti in acque salate in eccesso. Ma alla costituzione dei *grès variegati* e delle *marne iridate* non è forse estraneo il geiserismo, come nol sono più probabilmente, le salse ed i vulcani di fango. Colla stessa probabilità si può presumere che alla formazione di quei singolari depositi siano tutt'altro che stranieri gli stessi vulcani, ai quali in fine sono vincolati i vulcani di fango, e tutte le secondarie manifestazioni dell' attività vulcanica. Ho motivo anzi di credere che molti di quegli strati, compresi sotto i nomi troppo generici di grès e di marne variegate, si riconosceranno non essere in fine che ceneri, sabbie, infine detriti vulcanici. Queste idee convengono perfettamente con ciò che si è osservato in Inghilterra.

461. In Inghilterra non trovo segnalati indizî di vulcanismo molto attivo, durante l' epoca del trias. Trovo però che esistono nella parte meridionale del Devonshire delle masse trappiche, associate al nuovo *grès rosso* (trias). Queste, secondo le idee

di La Bêche, riportate da Lyell (*Manuel*, II, pag. 371), non hanno già penetrato il grès posteriormente alla sua formazione, ma sarebbero il prodotto di eruzioni contemporanee. Certi letti di grès grossolano, misti ad una marna rossa, si assomigliano alle sabbie rigettate dai vulcani. Nei conglomerati stratificati, che s'incontrano nelle vicinanze di Tiverton, si osservano numerosi frammenti angolosi di trapp porfirico, alcuni del peso di una a due tonnellate, misti a ciottoli d'altre rocce. Quei massi furono probabilmente lanciati da crateri vulcanici, e caddero sullo strato sedimentare in formazione.

462. Altri indizî di vulcanismo avremmo in Germania. Lo Schmidt parla di un dicco granitico nello Zechstein di Schmalkalden, dal che si desumerebbe che alcuni graniti della Turingia siano posteriori al periodo permiano (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 253). Dicchi di melafiro appajono nel Muschelkalk di Gnegstadt nel Steigerwald, i quali possono appartenere al trias medio o superiore. Eruzioni porfiriche ebbero luogo nel Banato, e sono testimoniate dai dicchi che attraversano le arenarie keuperiane inferiori, terminando con espandimento entro gli schisti marnosi del keuper superiore. Ad Esterell, in Provenza, si osservano dei porfidi, i quali sarebbero, secondo alcuni, da riferirsi al permiano, come quelli che soggiacciono all'*arenaria variegata*. Secondo Coquand invece, quei porfidi sarebbero contemporanei dell'*arenaria variegata*. In molti strati dei conglomerati appartenenti a quella formazione, si osservano detriti porfirici, e gli stessi strati sono a volte a volte traforati da dicchi e coperti da espandimenti porfirici (Naumann, *Op. cit.* II, pag. 612).

463. All'epoca triasica io penso dovranno riferirsi molte e molte delle masse porfiriche delle prealpi lombarde. Non ho avuto ancora l'occasione di raccogliere particolari ben definiti: dirò tuttavia come le regioni keuperiane della Val Camonica, della Val Trompia, della Val Sabbia, siano anche quelle ove i porfidi, generalmente verdi, sembrano trincerarsi. La Val del Dezzo, per cui si scarica la Val di Scalve nella Val Camonica, è un distretto ove sorgono in rupi colossali i porfidi, ed è tutta scavata entro le formazioni triasiche. Una gran massa porfirica sorge, per esempio, tra Volpino e le foci del Dezzo, precisamente tra la formazione della Volpinite, grande ammasso gessoso, appartenente agli strati di Gorno e Dossena (strati di Raibl; trias superiore), ed i conglomerati e gli schisti arenosi del *Servino* e del *Verrucano*, rappresentanti le *arenarie variegate*. Un po' più in su, entro la gora del Dezzo, presso Angolo, si osserva un enorme dicco di porfido, con enormi salbande, costituite da uno stupendo conglomerato di frizione, formato di frantumi di calcare nero, impastati dal porfido. Quel calcare nero è, secondo me, un equivalente dei *marmi di Varenna*, che stanno tra le arenarie variegate e gli strati di Gorno e Dossena. Con tutta probabilità quei porfidi eruppero durante la formazione dei detti strati di Gorno e Dossena. Sulla sponda orientale della Val Camonica e del lago Iseo i porfidi hanno grande sviluppo, e compajono in cento masse isolate sempre entro i dominî del trias. Nella val dell'Opol singolarmente, che si versa nel lago d'Iseo nelle vicinanze di Pisogne, e precisamente sul fianco del monte Guglielmo, i porfidi verdi, i conglomerati porfirici, sono ripetutamente, ed in tal guisa associati alle arenarie verdi keuperiane, che riesce difficile il distinguere ciò che vi ha di eruttivo dai prodotti di vero sedimento. È in quelle località principalmente che, io penso, risulterà da più accurati studî, le nostre rocce variegate del keuper non essere in gran parte che ceneri e detriti vulcanici, rimestati dalle acque.

464. I porfidi della Val Camonica si continuano sulla stessa linea con quelli della Val Trompia, sviluppati principalmente nei dintorni di Marcheno, ove osservai un

vero interstrato di porfido entro gli strati del trias superiore. La Val Sabbia si può definire un gran bacino di erosione, entro le arenarie idrate della formazione di Gorno e Dossena. Anche qui i porfidi sono associati talmente ad esse arenarie, da costituire evidentemente una stessa contemporanea formazione. Io direi, conchiudendo, che, durante il periodo del trias inferiore, le regioni delle prealpi, e principalmente la regione compresa fra il lago d'Iseo ed il lago di Garda, costituiva un distretto vulcanico attivissimo, che offre argomento brillante di futuri studî.

465. Certamente sono pochi i documenti del vulcanismo triasico raccolti nelle diverse regioni d'Europa, ma sono ancora minori quelli che si raccolsero in America. Il poco vale tuttavia a dimostrare come le identiche condizioni dei depositi triasici, che così meravigliosamente si verificano pei due continenti posti sulle due sponde dell' Atlantico, hanno ragione nelle stesse cause, compresa quella parte, forse più riflessibile che non si pensi, che noi abbiamo assegnato ai vulcani. Basta per ciò asserire quanto ci è riferito da Dana circa l'esistenza di uno stupendo sistema di trapp, che si vedono, siano in dicchi, sia in eminenza, sorgere entro i dominî dei celebri strati triasici del Conneticut. Anzi, in questi stessi strati si osservano interstratificati veri tufi vulcanici. Talora però le stesse arenarie del trias sono indurite e come scorificate al contatto del trapp; sicchè bisogna conchindere, che le eruzioni continuarono durante l'epoca triasica, in guisa che i trapp poterono espandersi sugli strati triasici in formazione, ed esercitare un'azione metamorfica sui già formati.

466. La grande regolarità che caratterizza i depositi dell' infralias in Europa, depositi che si svolgono, con singolare uniformità, dall'Irlanda al Mar Nero, attraverso l'Inghilterra, la Germania, la Francia, la Svizzera, l'Italia e l'Impero Austriaco, accenna ad un periodo di riposo piuttosto che di attività vulcanica. Comincia, in fatti, una grand' epoca, la quale, per rapporto al vulcanismo, si trova in perfetta opposizione colle epoche precedenti. Le epoche paleozoica e triasica si possono dire, infatti, epoche di continuo parossismo vulcanico sulle nostre aree continentali: ma il vulcanismo pare sulle stesse aree addormentarsi, durante un periodo immenso, in cui si deposero i terreni del Giura e della creta. I furori vulcanici erano certamente volti altrove, sicchè tanto in Europa che in America non ne troviamo che scarsissimi indizî. Anche attualmente, mentre a cento a cento erumpono i vulcani sulle coste americane del Pacifico, e negli Arcipelaghi indiani; scarsi di numero, e come stremati di forze, si veggono sulla vasta distesa dell' Atlantico, benchè anche qui il vulcanismo ferva concentrato in certi punti, come in Islanda o nelle Azorre.

467. I serpentini dei Vosgi e del dipartimento dell' Aveyron sarebbero medî tra il trias ed il lias, secondo E. de Beaumont e Fournet. Quest'ultimo dice espressamente che i serpentini dell' Aveyron hanno dislocato i terreni antichi, compreso il trias, mentre gli strati del lias vi si adagiano sopra in strati orizzontali (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 435). I serpentini dell'Aveyron direbbero una eruzione infraliasica.

468. Un distretto porfirico, che io assegnerei all' infralias, e precisamente a quel periodo in cui si deponevano gli strati ad Avicula contorta, sarebbe quello di Gandino. Sono porfidi anfibolici, di diverse varietà, una delle quali distinta per essere disseminata di grossi cristalli di anfibolo. Quei porfidi sono sviluppatissimi entro il bacino lignitico di Leffe, di cui direbbesi formino il fondo, e nelle montagne all'ingiro. Essi porfidi si mostrano in una serie maravigliosa di dicchi, principalmente nel letto di Val Concossola, dove si injettano entro rocce dolomitiche, le quali stanno alla base dell'infralias, appartenendo già forse al gran gruppo della dolomia *a Megalodon Gümbelii* (piano superiore del trias superiore) che attinge uno sviluppo enorme a nord del bacino. I por-

Digitized by Google

fidi hanno rotto, frantumato e convertito in saccaroide i calcari dolomitici, tanto alle salbande come nei frammenti interclusi. Essi porfidi eruppero, dissi, assai probabilmente durante la sedimentazione degli strati ad Avicula contorta. Salendo infatti dalla Val Cavallina, per giungere a Gandino attraverso i monti, si vedono i porfidi anfibolici svilupparsi in tale intima associazione cogli schisti neri dell'infralias, che non si può dubitare delle loro contemporaneità. Anzi presso Gaverina si osserva una gran zona di porfidi, coperta a stratificazione concordante, o solo con qualche parziale discordanza dai nominati schisti. Direi, in fine, che i porfidi dei dintorni di Gandino rappresentano una serie di eruzioni, le quali ebbero luogo, cominciando dalla fine dell'epoca triasica fin verso la metà del periodo infraliasico. Non havvi del resto nessun indizio di eruzione nè nel lias, nè nelle formazioni più recenti delle prealpi lombarde.

469. Col lias incomincia, come dissi, un gran periodo di riposo per l'Europa; periodo che prolungossi fin verso il mezzo del periodo eocenico, cioè fin verso l'epoca, in cui la foga dei sollevamenti a cui si deve l'aggruppamento degli attuali continenti intorno al polo artico, ridestò il vulcanismo sulle aree nostre continentali, e lo intrattenne in quella specie d'incessante parossismo, che dura fino ai nostri giorni, senza dar segno di indebolire.

Non trovo accennata nessuna roccia eruttiva che si riporti all'epoca del lias, ad eccezione dei porfidi di Davos nei Grigioni e del piccolo Wintgello, nel Cantone di Uri; i quali, secondo Studer, stanno in rapporti così immediati coi calcari giuresi, che la loro eruzione deve credersene contemporanea, se non forse posteriore. Quei porfidi, dice Naumann, sarebbero i più recenti in Europa (*Lehrb.*, II. pag. 713).

470. Nel periodo dell'oolite il vulcanismo presenta nella Scozia un distretto di singolare attività. Abbiamo già veduto infatti, come le Ebridi interne constino di gruppi trappici, in corrispondenza coi terreni d'epoca giurese, dal *lias* fino all'*oxfordiano.* Abbiamo anzi riportato dal Geikie la sezione dell'isola Skie, come quella che offre il più splendido saggio di una serie di poderose eruzioni, accusate da grandi interstrati di trapp (greenstone e basalti) i quali alternano coi sedimenti del periodo oolitico (§ 97).

Terminerò la rassegna dei vulcani giuresi, accennando all'esistenza di graniti nella Sierra Nevada (California), i quali, stando a Richthofen (*Zeitschr. d. Geol. Gesell.* 1868), non possono essere più antichi del sistema giurese. Forse il fatto è meritevole di conferma; tanto più che lo stesso signor Richthofen lo accenna come una anomalia contraria a tutti i fatti raccolti finora nelle altre regioni, ove i graniti non pare oltrepassino i limiti dei periodi paleozoici. Così i porfidi quarziferi, sviluppatissimi a Washoe, che stanno, dice Richthofen, tra i giacimenti granitici e le formazioni vulcaniche recenti, possono sospettarsi equivalenti ai porfidi quarziferi, che in Europa oscillano tra l'epoca paleozoica e il trias. I dubbi espressi circa l'età dei graniti e dei porfidi di California, contrariamente alle opinioni di Richthofen, se giustificati dalle analogie colle identiche formazioni in Europa, lo sono anche dal fatto riportato dallo stesso lodato autore: osservarsi cioè, come abbiamo detto più sopra, sul fiume Colorado un granito, formante enormi ammassi nelle Montagne rocciose, coperto da formazioni paleozoiche, e nella California del Nord un porfido quarzifero, indubbiamente triasico o liasico.

471. La natura dei terreni della creta è tale, che risponde, meglio che qualunque altro deposito, all'ideale di un'epoca di riposo. La creta bianca soprattutto, quell'ammasso enorme di calcare d'origine organica, che si distende dalla Scozia meridionale

Digitized by Google

fino al sud di Bordeaux, e dall'Irlanda fino alla Crimea, e di là fin nel paese dei Kirghisi (*Parte seconda*, § 646 e 1017), ci dipinge l'Europa in que' tempi approssimativamente nelle condizioni di quei pacifici arcipelaghi, perduti nell'immensità dell'Oceano Pacifico, ove il mondo dei coralli lavora assiduo e silenzioso, a raccogliere i materiali per la costruzione di nuovi mondi. Tuttavia qualche indizio di vulcanismo è offerto anche dalla creta. I melafiri di Crimea oruppero, secondo Verneuil, tra il giura e la creta (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 733). Il signor Virlet avrebbe pure dimostrato che certe ofioliti della Grecia, composte in gran parte di diallagio e di serpentino, con amigdaloidi, a nodi calcarei e pasta serpentinosa, appartengono alla *creta*. Essi alternano, fra Kastri e Damala in Morea, a stratificazione concordante, col calcare cretaceo o col *grès verde*. Un conglomerato di ciottoli ofiolitici, a cemento calcare, contiene, a Nanplia, fossili della creta e del grès verde (Lyell, *Manuel*, II, pag. 370).

472. Questi fatti, raccolti in Morea, concorderebbero, secondo me, assai bene con quanto si osserva in Italia. I serpentini, per cui è classica la catena dell'Appennino, hanno in complesso l'aria di essere ristretti entro i limiti d'un'epoca non molto larga, che comprenderebbe gli ultimi periodi dell'epoca cretacea, ed i primi dell'epoca terziaria. In Toscana, per esempio, Savi e Meneghini (*Considerazioni sulla geologia della Toscana*, pag. 502), vogliono che le rocce ofiolitiche rimontino forse fino all'epoca del lias, continuandosi fino al miocene. Le più antiche, ad ogni modo, non sarebbero nè posteriori alla creta, nè anteriori al lias. Sono serpentine diallagiche, le quali sono susseguite da eufotidi, da ofiti e e da dioriti d'epoca più recente. In fatti, essi dicono, le antiche serpentine diallagiche sono traforate da dicchi di eufotidi, e queste incrociate da dicchi di ofiti o di dioriti. Con queste tre successive formazioni si giunge fino ai confini superiori dell'eocene, i quali però non vengono oltrepassati. Ma vi hanno serpentini più recenti, i quali invece traforano il miocene, includendo brani delle eufotidi e delle ofiti precedenti. Bisogna però notare che la geologia della Toscana, esposta da Savi e Meneghini, comprende le Alpi Apuane, le quali sono uno spicchio piuttosto delle Alpi che degli Appennini. Le rocce serpentinose delle Alpi rimontano certamente ad epoche antiche, forse antichissime. Non così può dirsi delle serpentine del vero Appennino. Pareto, Pilla, Bonè, Brongniard, Coquand, e Cocchi, tutti concordano nel riconoscere l'età recente dei serpentini dell'Appennino. Il Pareto, per esempio (*Descrizione di Genova*, pag. 135), osserva che nella Liguria, non un solo frantume di roccia serpentinosa s'incontra nella *calcarea a fucoidi* (creta?), e nemmeno nel macigno (eocene). I ciottoli serpentinosi si trovano invece abbondanti negli strati terziarî medî, per cui il periodo principale dell'eruzione di quelle rocce sarebbe il miocene. Il signor Studer poi allarga assai l'orizzonte di queste serpentine. Secondo lui le serpentine della Svizzera e dell'Alta Italia si trovano entro uno spazio elittico, il cui grand'asse corre dal Capo Argentaro a Martigny, parallelo al grand'asse d'Italia: punto medio Genova. Quei serpentini sono in intimi rapporti colle rocce dell'*età del macigno*, e sono a ritenersi più giovani di questo (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 436).

473. Tenendoci ancora in Italia ci si presenta un altro distretto, classico egli pure come regione di vulcani terziarî, dove però l'attività vulcanica avrebbe cominciato a manifestarsi durante l'epoca della creta. I colli Euganei, presso Padova, descritti ultimamente da Rath (*Geol.*, *Mittheil*, ecc., *Zeitschr. d. deutsch. Geol. Gesell.*, 1864) occupano un'area elittica, il cui asse maggiore corre circa otto miglia da nord a sud. Sorgono dal piano alluvionale, e constano di rocce vulcaniche (doleriti, trachiti, per-

Digitized by Google

liti, conglomerati vulcanici) associate ai calcari del Giura e della creta ed alle marne ed agli schisti terziarî. Sono le doleriti quelle che segnano ripetute eruzioni durante la creta. Offrono esse in fatti molti interstrati nelle *marne bianche*, cioè entro la *scaglia* veneta, riferita universalmente alla creta, e precisamente al *Senonien* (creta bianca superiore) dal De Zigno. Il signor Rath ci offre uno spaccato, preso a Monte Oliveto, ove per ben quattro volte le marne bianche alternano, a strati concordanti, colle doleriti. Si osservano anche dei conglomerati doleritici, che hanno l'aspetto di tufi vulcanici, e precisamente d'una miscela calcareo-doleritica che richiama i recenti peperini. Si osservano però anche dei dicchi doleritici, che traforano le marne, indicando come le eruzioni durassero anche dopo che gli strati della creta erano totalmente, o parzialmente deposti. Le doleriti sono talora compatte, talora invece amigdaloidi, contenendo in questo caso mandorle di spato calcareo o di calcedonia, compresse ed allungate sopra piani paralleli. Esse indicano dunque come i colli Euganei si trovassero allora nelle condizioni di un'area vulcanica, poco profondamente sottomarina, per cui ebbero luogo a volte a volte eruzioni subaeree di lapilli, e le lave poterono gonfiarsi, per trasformarsi in seguito in amigdaloidi.

474. Riporto, come si dice, per debito di cronista, essere certi graniti di Sassonia ritenuti cretacei, anzi posteriori, almeno parzialmente, alla creta, come quelli che non solo coprirebbero il cretaceo, ma inviluppererebbero dei frammenti regolari di calcare, ove si distinguono ancora i fossili della creta (Delesse, *Études* ecc., pag. 320). Vuolsi così che il granito dell'isola Tavolara in Sardegna abbia reso cristallino il calcare contenente delle *Ippuriti*, conchiglie così caratteristiche della creta. Io sono però molto restío ad ammettere graniti di epoche così recenti, molto più dopo che si trovò che l'età recente del granito, ritenuto fin terziario, per esempio, in Tirolo, dipese da una falsa apprezziazione di certi dati stratigrafici. Noi vediamo in fatti, come nello spaccato del Tirolo meridionale, tracciato da Suess (§ 335, fig. 21) il granito di Cima d'Asta riposi concordante sopra i terreni terziarî, per un semplice effetto di rovesciamento, mentre esso non è che un equivalente del terreno carbonifero.

475. Di vulcanismo cretaceo non trovo riportato alcun indizio nell'America del nord. È invece durante la creta che i vulcani avrebbero straordinariamente infierito nell'America del sud. Darwin osservò in fatti nella Terra del Fuoco, entro lo spazio d'un miglio inglese, per ben cento intercalamenti di porfido, i quali presenterebbero quasi tutti l'aspetto di altrettanti espandimenti, alternanti cogli strati cretacei (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 696). Sarebbe così evidente che si possano leggere colà, sulle pagine stesse, e il progresso della sedimentazione, e lo svolgimento della vita, e le fasi dell'attività interna del globo, durante l'epoca cretacea, con tale ricchezza di particolari, che difficilmente incontrerebbesi altrove. Basta questo solo esempio per mostrarci come sarebbe un gravissimo errore il credere di leggere la storia del globo unicamente sulle aree, relativamente anguste, che furono finora aperte ai nostri studî: e come, se i vulcani si mostrano dormenti in un'epoca in Europa od altrove, non è a dire per questo che il vulcanismo dormisse sull'intera faccia del globo. La storia dei vulcani, più ancora che la storia dei mari, non potrà narrarsi, se non quando saranno dischiuse allo studio dei geologi tante regioni ancora ignote.

476. Non possiamo dir nulla di tante masse eruttive antiche, che pure si fanno esistere in Africa, in Asia, e nelle isole disseminate negli Oceani. Se la cronologia dei terreni eruttivi è così difettosa, e quasi si può dire non ancora iniziata in Europa, che sarà di quelle immense regioni, viste dal geologo tutt'al più nella foga d'un viaggio? Si rifletta d'altronde all'immensa difficoltà di questo studio. Nella Nuova Ze-

Digitized by Google

landa, per esempio, si potè studiare per bene la cronologia de' vulcani non più antichi dell'epoca terziaria. Ma quando si arriva alle rocce d'epoca più remota, dobbiamo accontentarci di sapere dal signor Hochstetter esistere nella Nuova Zelanda una ricca serie di rocce eruttive, le quali appartengono in genere all'epoca mezozoica, che comprende, come sappiamo, i terreni del trias, del Giura e della creta. Queste rocce sono: 1.° Le serpentine colle duniti delle montagne del Dunn; 2.° le sieniti, i porfidi, i melafiri e le ipperiti.

Con sì scarsi documenti eccoci giunti all'epoca cenozoica, ossia ai terreni terziarî. Siamo all'epoca alla quale rimonta, può dirsi quasi letteralmente, il sollevamento degli attuali continenti. Queste aree, sulle quali le mille volte rimutaronsi i mari, e che apparvero talvolta temporaneamente ascintte, per venire di nuovo sommerse, vengono finalmente a fissarsi sotto l'aperto cielo. Il vnlcanismo, se su queste aree apparve fin qui a preferenza sottomarino, dovrà ora preferibilmente vestire le forme dei vnlcani terrestri. Gli apparati vulcanici rimangono presso che intatti, e sulla superficie continentale veggonsi disseminati a mille a mille i coni, dai cui crateri sembrano anche oggi riversarsi le fluide correnti. La storia de' vulcani si trova assai più ricca di documenti, che non nelle epoche scorse: se il vnlcanismo non può dirsi più energico nell'epoca terziaria, certo si rivela più chiaro, vestendo qnelle forme, le quali distinguono talmente i vulcani ardenti sotto i nostri occhi, che si volle erroneamente distingnere vnlcano da vnlcano, i vulcani recenti dai vulcani antichi, le lave moderne dalle lave antiche, scambiando, per una differenza sostanziale di natnra, ciò che non era che diversità di forma.

Digitized by Google

XIV. Vulcani cenozoici e neozoici.

Vulcani terziari in Europa, 477. — *Isole Britanniche*, 478. — *Germania*, 479. — *L' Eifel*, 480, 481. — *Il Siebengebirge*, 482. — *Westerwald*, *Vogelsgebirge*, *Meisner*, *Rhongebirge*, 483. — *Boemia*, 484. — *Ungheria*, 485. — *Il Siebenbürgen*, 486. — *Altre località in Germania*, 487. — *Francia centrale*, 488, 489. — *Mont-Dore*, 490. — *Cantal*, 491. — *Canton d'Aubrac*, 492. — *Il Mezen* 493. — *Catena del Puy de Dôme*, 494. — *Età dei vulcani della Francia centrale*, 495. — *Eruzioni in epoca storica*, 496-498. — *Altri vulcani in Francia*, 499. — *Ofiti de' Pirenei*, 500, 501. — *Vulcani della Spagna*, 502. — *Gruppo della Catalogna*, 503. — *Italia*, 504. — *Colli Euganei*, 505. — *Distretto del Vicentino*, 506-511. — *Serpentini dell'Appennino*, 512. — *Vulcani di Sardegna*, 513. — *Monti della Tolfa*, 514-516. — *Vulcani dell' Italia centrale*, 517. — *Topografia e costituzione*, 518, 519. — *Origine del tufo della Campagna di Roma*, 520-524. — *Cronologia*, 525-528. — *Eruzione del Lago-puzzo*, 529. — *Lago di Bolsena*, 530. — *È un cratere*, 531. — *Cratere di Latera*, 532. — *Colli Cimini*, 533. — *Lago di Vico*, 534. — *Lago di Bracciano*, 535. — *Colli Laziali*, 536, 537. — *Prolungamento della zona vulcanica verso la zona dell' Italia Meridionale*, 538. — *Sicilia*, 539. — *Sintesi dei vulcani cenozoici e neozoici d' Europa*, 540. — *Rispondono al sollevamento progressivo dei continenti*, 541, 542. — *Prove desunte dalla catena vulcanica dell' Atlantico*, 543, 544. — *Asia* 545. — *Africa*, 546. — *N. America*, 547. — *Australia*, 548. — *N. Zelanda*, 549, 550. — *Riflessi sulla coincidenza de' fenomeni tra regioni antipodi*, 551.

477. Molti distretti vulcanici dell' epoca terziaria sono conosciuti specialmente in Europa: e siccome questi vulcani formano, come i vulcani attuali, dei sistemi a sè, cioè montagne e catene di montagne, poterono da lungo tempo chiamare l' attenzione dei geologi, e dare alimento a minute, preziosissime indagini. Se il nostro scopo portasse di descrivere quante regioni vulcaniche ci si presentano nei tempi andati, avremmo, per quanto riguarda i vulcani terziari e posterziari, a dettare dei volumi.

Siccome invece noi cerchiamo più che altro i documenti di una cronologia vulcanica; ci troviamo anche qui assai angustiati dalla scarsezza dei dati finora raccolti in proposito. Passeremo dunque brevemente in rassegna i diversi distretti vulcanici, trascurando i particolari, intesi unicamente a cogliere ciò che interessa la geologia generale, dal punto di vista principalmente dell'attività interna del globo nelle diverse epoche.

Cominciando dall'Europa, noi troviamo che l'attività vulcanica, che ora si direbbe prossima a spegnersi, tanto sono scarsi i punti ove si esercita, era invece in uno stato, direbbesi, di esaltamento, durante l'epoca terziaria, specialmente partendo dall'eocene medio, per giungere fino all'aurora del periodo antropozoico. Le rocce vulcaniche non solo, ma i coni vulcanici, i veri apparati dei vulcani subaerei, si trovano in alcune delle regioni più centrali del continente.

478. Le isole Britanniche, dopo tanti parossismi delle epoche precedenti, godevano di un riposo quasi assoluto. Dopo che i celebri basalti delle Ebridi si trovarono invecchiati fino all'oolite, non rimase altro indizio di vulcanismo appena recente, che il piccolo gruppo dei basalti di Mull. L'eruzione di quei basalti si riferisce al miocene. Trovansi infatti degli strati di argilla, con foglie di piante dicotiledoni del periodo miocenico, intercalati a letti di basalte e di ceneri vulcaniche. Non occorre il dire per ciò che trattasi ancora di eruzioni insulari od appena sottomarine.

479. Passando in Germania, noi troviamo che i vulcani presentano uno straordinario sviluppo in diversi grandiosi distretti, formanti quasi una catena, che attraversa il continente, sopra una linea nord-ovest sud-est dal Mare del Nord al Mar Nero. Que' vulcani, riferibili in genere all'epoca terziaria, alcuni de'quali però furono forse veduti ardenti dall'uomo, si presentano sopra tutto in tre grandi masse o distretti. Il primo sarebbe il distretto del Reno, il quale comprende le innumerevoli masse di trachiti, di doleriti, di fonoliti, di tufi disseminati nelle provincie renane, sulla sinistra del Reno, tra questo fiume e la Mosella, e sulla destra, dilatandosi nel Westerwald, nel Wogelsgebirge, ecc. Il secondo distretto è quello della Boemia, e consta di una gran zona pure trachitica e basaltica, formata di un gran numero di masse, più o meno sviluppate, distribuite sulle due sponde dell'Elba, dal Fichtelgebirge fin verso il Riesengebirge. Il terzo distretto è quello d'Ungheria, prolungato ad est col Siebenbürgen, noto principalmente come distretto trachitico.

480. Cominciando all'estremità occidentale della gran catena vulcanica, troviamo la classica regione dell'Eifel, distretto vulcanico che spiegò in tempi assai vicini a noi una attività che trova appena riscontro nei campi Flegrei, o nel gruppo delle Gallapagos. Si divide in Eifel superiore ed inferiore. L'Eifel inferiore, che contiene il distretto di tal nome, unitamente ai distretti di Andernach e di Mayen, è una regione montuosa, solcata da valli profonde, che versano al Reno. Molte di quelle colline sono coni vulcanici, talora conservatissimi, con crateri imbutiformi. Constano, in generale, di conglomerati vulcanici e di ceneri, con numerosi frammenti di pomici, di lave fonolitiche e di frantumi del terreno devoniano, attraverso il quale quei vulcani si aprirono la via. Il massimo bacino vulcanico di quel distretto è il lago di Laach, cratere quasi circolare, da cui si altoruarono imponenti eruzioni di lave, di lapilli, o di fanghi. Scorgarono da questo cratere i celebri fanghi, detti *trass*, della valle di Brühl, di cui ci occuperemo più tardi, parlando in special modo delle eruzioni fangose. Noi siamo, del resto, già entrati in tali particolari circa quel lago e i suoi dintorni, che possiamo dispensarci dall'occuparcene più a lungo. Lo stesso dicasi dell'Eifel superiore, la celebre regione dei Maar, e dei crateri in forma di pozzo

circolare, scavati immediatamente in seno alle rocce devoniane. Ricorderemo come in quel distretto le eruzioni furono di rado insistenti sullo stesso punto: per cui non poterono accumularsi i detriti vulcanici, costituendo quelle coniche moli, la cui esistenza caratterizza universalmente i distretti vulcanici più recenti. Mentre i crateri-pozzi mostrano a nudo le rocce sedimentari; il detrito vulcanico, misto a gran copia di frammenti sedimentari, si dilata superficialmente in tutto il distretto. Frequenti sono pure le correnti di basalte, le quali in generale sembrano essersi espanse al di fuori, per un vero processo di drenaggio, per via di spaccature che si sprofondarono fino al piede delle eminenze, per le quali si sfogavano, con violenza devastatrice, i vapori vulcanici.

481. In qual'epoca arsero quei vulcani? La loro superficialità, la freschezza di quelle lave e di que' detriti, la nudità di quei crateri, l'attività tutt'altro che spenta, attestata da un numero infinito di sorgenti e di emanazioni gazose; tutto in fine annuncia che que' vulcani sono estremamente recenti. I vulcani dell' Eifel sono, senza alcuna eccezione, subaerei: dunque eruppero quando quelle regioni erano già sorte in guisa, da venir sottratte ad ogni azione del mare. Osserva anzi lo Scrope che le correnti di lava hanno invariabilmente seguito il corso delle valli, invadendo il letto dei torrenti, i quali non ebbero poi tempo di scavarsi un nuovo letto. Dunque, non solo la regione era già emersa, ma già era stata profondamente degradata dagli agenti esterni. Colle idee che ci siamo formate sulla giovinezza dei sollevamenti continentali, i quali in genere non daterebbero che dalla fine dell' eocene medio, non potremmo assegnare ai vulcani dell' Eifel una data anteriore al miocene. Ma vedremo come i vicini vulcani del Siebengebirge e di tutta la Germania centrale, indubbiamente più antichi dei vulcani dell' Eifel, sono già loro miocenici o post-miocenici. I vulcani dell' Eifel non potrebbero essere per conseguenza anteriori al pliocene. Ma ancora è troppo. Fu osservato che al *loess* della Germania (alluvione equivalente del terreno glaciale) sono intercalate talora sabbie vulcaniche, ceneri e scorie. Ciò rende adunque assai probabile (anzi certo, quando si verificasse il fatto non di una miscela alluvionale, ma di un vero intercalamento di detrito vulcanico) che i vulcani dell' Eifel ardessero durante l'epoca glaciale. Aggiungi che i tronchi sepolti nel trass della valle di Brühl furono trovati dal padre Wolf appartenere alla *Betula alba*, e che lo stesso scenziato vi scoprì molte foglie di altri vegetali, i quali appartengono, per la massima parte, a specie ancora viventi in que' luoghi. Esiste poi un cratere, fuori dei limiti dell' Eifel, ma nelle vicinanze, e ancora sulla sinistra del Reno, il quale accusa indubbiamente una eruzione post-glaciale. È questo il Rodderberg, presso Bonn, cratere appena accennato alla superficie, e già ricoperto di vegetazione. Rimovendo però le zolle superficiali si scorge una corrente di lava, estremamente bollosa, e fresca come fosse raffreddata jeri. Noto che esso si trova entro i domini alluvionali del Reno; eppure non venne riempito dalle alluvioni, le quali sulla sinistra del Reno formano terrazzi altissimi. Anzi, se bene ho osservato nell' unica visita che io feci di passaggio a quel vulcano, esso eruppe dal piano dell' ultimo, ossia del più basso terrazzo del Reno. Quell' eruzione è adunque posteriore al periodo dei terrazzi. Lo Scrope ricorda un passo di Tacito (*Annales*, lib. XIII), ove si parla di una eruzione ignea, la quale, durante l' impero di Nerone, devastò la città dei Juhones (*Civitas Juhonum*) presso Colonia. Egli sospetta che prodotto di quella eruzione sia la corrente colossale di Niedermenning, l' ultima certamente che sia sgorgata dal cratere di Laach. Ma, nel caso, il cratere di Rodderberg offre argomenti di un' età ancora più recente. Io credo tuttavia che il fuoco descritto da Tacito, che, ribelle all' acqua, cedeva ai colpi di

Digitized by Google

verga, e ai fasci di cenci, con cui i paesani cercarono di soffocarlo, non possa essere un fuoco vulcanico, ma, tutt' al più, il fuoco di una fontana ardente, cioè di una emanazione di idrocarburo. Ad onta di ciò parmi d'aver detto assai, per poter conchiudere che i vulcani dell' Eifel debbono considerarsi come post-terziari.

482. Immediatamente sulla destra del Reno, sorgenti dalle sue acque, abbiamo il gruppo del Siebengebirge, cioè delle *Sette Montagne*, di cui abbiamo già altre volte accennati i tratti più caratteristici. Diceva, or ora, che i vulcani del Siebengebirge hanno l' aria, benchè miocenici, di essere più antichi dei vulcani dell' Eifel. Quelle sette montagne, infatti, non sono che sette grandi masse di trachite, sorgenti isolate, a guisa di dicchi colossali. I tufi vulcanici, di considerevole spessore, ne investono le basi. Trattasi dunque di montagne vulcaniche demolite, difficile il dirsi se dalla furia del mare, o dagli agenti terrestri. Ad ogni modo i vulcani dell'Eifel, conservati colle loro correnti e coi loro crateri devono essere più giovani. Io inclino poi a credere che all'azione del mare sia da attribuirsi lo stato attuale del Siebengebirge, ed in genere dei vulcani della Germania, nelle condizioni del Siebengebirge. Trattasi in genere di masse di lava compatta, di trachiti, di fonoliti, di basalti, sorgenti dai tufi vulcanici stratificati, a foggia di piattaforma. Questo non mi parrebbe spiegabile altrimenti che col supposto, formassero i vulcani della Germania sistemi di vulcani insulari nel mare terziario, che eruppero e vennero demoliti al modo dell'isola Giulia, della Sabrina, e di tante altre isole che si videro edificate e distrutte ai tempi nostri. Non osta il fatto che le lave del Siebengebirge, e gli altri distretti vulcanici, per esempio, dei vulcani della Boemia, si trovino in concorso immediato con ligniti d'acqua dolce; poichè quelle ligniti possono appartenere alla massa vulcanica stessa, ed essersi formate entro crateri o depressioni, durante una face terrestre o maremmana dell' area vulcanica, come si trovano le celebri ligniti nell' isola Madera, formanti parte della compagine vulcanica dell' isola, sormontate da basalti e da scorie della potenza di 335 metri (Lyell, *Manuel*, II, pag. 305). È ben inteso in questo supposto, che nel lungo periodo di quelle eruzioni, avessero pur luogo delle oscillazioni, sicchè le fasi terrestri e maremmane si alternassero colle fasi marine, finchè un ultimo sollevamento mise allo scoperto il risultato dei diversi agenti. Quanto all'epoca dei vulcani del Siebengebirge, essa si desume, come in genere pei vulcani del Reno e di tutta la Germania, dai loro rapporti col *Braunkohle*, ossia colle ligniti così sparse in Germania, ascritte alcune all' eocene, altre al miocene. In genere però si riconoscono come mioceniche, e sarebbero superiori agli *strati di Limburg* ascritti da Hébert al miocene inferiore. Le ligniti del Siebengebirge sono però coperte dalle rocce vulcaniche, per cui queste cadrebbero verso la fine del periodo miocenico, e sarebbero anteriori alle ultime fasi del sollevamento, a cui va attribuito il rilievo attuale del paese.

483. Il Siebengebirge si prolunga col Westerwald, gruppo montuoso sulla destra del Reno a nord est di Colonia. Anche il Westerwald consta di trachiti, ma principalmente di dioriti e basalti, col solito accompagnamento di conglomerati vulcanici e di *trass*, ossia di fanghi vulcanici. Il Westerwald si continua verso est col Vogelsgebirge, gruppo di rupi e di piattaforme basaltiche, che coprono una superficie di 80 chilometri quadrati. Alcune di queste lave hanno traforato i depositi d' acqua dolce del periodo miocenico (Scrope, *Les volcans*, pag. 390).

Più a nord est s' incontrano numerose eminenze vulcaniche, sui confini della Baviera e dell' Assia Cassel. Il Meisner, imponente piattaforma di basalto, ricopre le ligniti, le quali furono talvolta converse in antraciti. Altrove i tufi coprono le ligniti,

ed i calcari d'acqua dolce del periodo miocenico (Scrope, *Op. cit.*, pag. 391). Ciò a continua conferma di quanto abbiam detto circa l'epoca recente di quel vulcano.

Continuando verso est, eccoci il Rhongebirge, catena di montagne, con masse considerevoli di basalti, di fonoliti spesso scoriformi, associate a perliti.

484. Il secondo gran distretto dei vulcani della Germania è quello che io ho chiamato distretto di Boemia. Sui confini nord est della Boemia, da Egrae a Pastbein, la catena del Fichtelgebirge è fiancheggiata da una serie di coni vulcanici, i quali offrono indizî di eruzioni recentissime. Un gran gruppo di eminenze vulcaniche si leva ad est di Carlsbad, e le sorgenti di questa celebre località sarebbero un indizio di un'attività non ancora spenta. Da Egra a Toeplitz abbiamo un'altra serie di colline di basalti e fonoliti, ed eccoci nell'interessantissimo distretto del Mittelgebirge, ossia nel gruppo dei vulcani dell'Elba, di cui abbiamo già altrove discorso, accennando le pittoresche rupi di basalti, fonoliti e trachiti che fiancheggiano l'Elba nelle vicinanze di Aussig, sorgendo da enormi piattaforme di tufi vulcanici. Nei dintorni di Aussig i basalti hanno traforato le ligniti, e le hanno carbonizzate e rese prismatiche. Così si raggiunge il Riesengebirge, ove il basalte, espanso sul granito, attinge i 4660 piedi sul livello del mare. Più ad est, una serie di coni basaltici si estende dall'Older a Falkenburg fino a Troppau, e di là a Freudenthal in Moravia. A nord di Olmütz i basalti e le scorie hanno un aspetto recente al pari delle lave del Vesuvio, e vi si osservano parecchie cavità cratoriche. Così, dice Scrope, dal quale caviamo le notizie precedenti, sembra esistere, attraversando il centro della Germania, in una direzione quasi parallela alla catena centrale delle Alpi, una zona pressochè non interrotta di coni e di piattaforme basaltiche, prodotti di eruzioni, che datano, per la maggior parte, dal pliocene, ed in molti punti da tempi ancora più recenti. Questa zona è soggetta a frequenti terremoti, e seminata di sorgenti calde, indizî d'una attività domata, ma ancora non spenta.

485. Veniamo al terzo distretto, cioè al gruppo dei vulcani d'Ungheria. Una serie rimarchevolissima di rocce vulcaniche si osserva lungo il fianco meridionale della catena granitica, che separa l'Ungheria dalla Gallizia, sul lembo sottentrionale delle immense steppe paludose, rappresentanti, dice lo Scopre, un vasto lago oggi disseccato. Le rocce dominanti in quel distretto sono le trachiti, unite a porfidi trachitici, perliti, conglomerati trachitici, ecc. Lo Scrope ci vede rocce assolutamente analoghe a quelle dei vulcani, presso che contemporanei, della Francia centrale, delle Lipari, della Sardegna e dell'America meridionale. Non vi si distinguono veri crateri, nè completi apparati di vulcani subaerei; sicchè pare, che i vulcani d'Ungheria si trovino nelle condizioni stesse dei vulcani di Boemia e del Siebengebirge. Vi abbondano le lave scoriformi e le pomici, così che riesce evidente che quei vulcani ebbero eruzioni subacree. Associata ai vulcani, si esercitava, come attualmente in Islanda e nella Nuova Zelanda, l'azione dei geyser. Ne sono argomento le brecce vulcaniche cementate dalla selce, i tronchi d'albero opalizzati, e le abbondanti varietà di opale, di calcedonia, ecc. Quanto all'epoca di que' vulcani, sappiamo che essi si levano erti sulle estese pianure terziarie, e che i loro tufi alternano con strati ritenuti di epoca miocenica; potrebbero quindi rappresentare un arcipelago vulcanico, in grembo al mare miocenico.

486. Il distretto vulcanico del Siebenbürgen si può considerare come una continuazione ad est del distretto d'Ungheria, per cui la zona vulcanica della Germania si spinge quasi letteralmente sino alle foci del Danubio. I vulcani di quel distretto non sembrano differire, nè per l'epoca, nè per la natura dei prodotti da quelli di

Ungheria. Secondo Richthofen e Stache, sembra che certe varietà di trachiti, dette da loro *andesiti ornebl endiche*, abbiano colà principiate le loro eruzioni quando il periodo eocenico era già chiuso, e nominatamente dopo che erano deposte le rocce nummulitiche. Quelle rocce, infatti, nel Siebenbürgen traforano verticalmente gli strati eocenici, e si espandono al di fuori a modo di piattaforme, ovvero si rizzano a foggia di montagne a campana. Nessun indizio, secondo i citati autori, di eruzioni sottomarine; sempre inteso che l'assenza di completi apparati vulcanici indichi eruzioni subaeree, a modo delle isole Giulia e Sabrina. Alle *andesiti* tennero dietro le *daciti* (varietà di *andesiti*), poi le *vere trachiti*, durante il periodo miocenico del *bacino terziario di Vienna.* Sorsero posteriormente le *rioliti* o *lipariti*, lave più moderne, o con queste si presentano nel Siebenbürgen veri crateri, veri vulcani allineati, che arsero probabilmente partendo dal periodo miocenico fin nel terziario più recente (Naumann, *Lehrb.* III, pag. 339-445). Ascrivendo in genere ai periodi del miocene e del pliocene i vulcani d'Ungheria e del Siebenbürgen, si può tuttavia ritenere come assai probabile che alcuno di essi, principalmente nel Siebenbürgen, abbia continuato le eruzioni fino a tempi assai vicini a noi. Osserva infatti, Scrope, che il *Loess* (probabilissimamente le alluvioni glaciali) del Danubio è riempito di ceneri trachitiche. Vuole di più che alcuni crateri della Transilvania (intende indubbiamente dei crateri del Siebenbürgen) sono ancora attivi allo stato di solfatara.

487. Avremmo a ragranellare alcuni gruppi vulcanici, sparsi a nord delle Alpi, fuori della gran zona or ora percorsa: ma basti qualche cenno sui principali. Nella valle del Reno, presso Freyburg, si osserva il Kaiserstuhl, massa basalitica, sovente scoriforme alla superficie, accompagnata da depositi considerevoli di tufi. Esso formava, dice Scrope, un'isola vulcanica nell'oceano terziario.

Presso Heidelberg si osserva l'Odenwald, gruppo di colline composte di lave augitiche e di corrispondenti conglomerati. Una vera zona vulcanica, composta di molte masse isolate ed allineate, osservasi al nord del lago di Costanza, alla base ed in direzione dello Schwäbische-Alp. Vi dominano i basalti e le fonoliti. Altre masse vulcaniche sono sparse nel Würtemberg (Scrope, *Les volcans*, pag. 373).

488. Continuando la rassegna dei vulcani d'Europa riferibili ai periodi più recenti, ci volgeremo al distretto forse il più classico che si conosca, come quello ove, da lungo tempo, si esercitano gli studî dei più celebri vulcanisti. Parlo dei vulcani della Francia centrale, distribuiti nelle provincie fra loro contigue dell'Alvernia, del Velay e del Vivarais, alle origini della Loira e del suo massimo confluente l'Allier. Quel celebre gruppo di vulcani, già studiato profondamente da insigni geologi, e in modo specialissimo da Scrope (*Geology of central France*), formò ora il soggetto dell'opera veramente classica del signor Lecoq, che descrisse quella regione in cinque grossi volumi con splendide illustrazioni, pubblicate sotto il titolo: *Les époques géologiques de l'Auvergne.* Noi ci guarderemo bene dal lasciarci allettare da tanti particolari interessantissimi, sicchè ci avvenisse di deviare dal nostro scopo. Saremo anzi brevissimi, tanto più che abbiamo altrove esposti que' risultati, per cui i vulcani della Francia centrale interessano maggiormente la geologia generale, nominatamente la cronologia. In questa breve rassegna ci torna ancora più opportuno di attingere specialmente allo Scrope.

489. Le eruzioni, da cui risultarono le rocce vulcaniche della Francia centrale, si manifestarono sopra una specie d'altipiano di granito, di gneiss, e di rocce cristalline antiche, che in quell'epoca non solamente si trovava all'asciutto, ma era emerso dal mare da lungo tempo, poichè entro i suoi confini, quasi altrettanto vasti quanto

quelli d'Irlanda, non si scopre nessuna traccia di rocce marine, posteriori ai sedimenti carboniferi. Quella grand' isola granitica, dice lo Scrope, presentava dei seni, dei *fords*, entro i quali unicamente si deposero i sedimenti carboniferi. Sottratta più tardi quella regione interamente al dominio del mare, offriva delle depressioni interne, le quali si convertirono in laghi d'acqua dolce durante il periodo terziario. È in questi laghi che si deposero i conglomerati granitici, quindi i calcari e le marne di acqua dolce, sulle quali a suo tempo si rizzarono i coni vulcanici, così imponenti e per mole e per numero, e si distesero le poderose correnti di lava, che, divise dai torrenti, coronano le piattaforme dell'Alvernia. I punti d'eruzione sono distribuiti sopra due linee, l'una che attraversa da nord a sud la bassa regione granitica, l'altra che si stacca in direzione nord nord-ovest, sud sud-est, seguendo l'asse della catena granitica centrale. Le formazioni vulcaniche consistono: 1° in quattro gruppi principali separati, di cui ciascuno può chiamarsi l'ossatura di un gran vulcano, sorgente sopra un orifizio, dal quale le eruzioni continuarono pel corso di secoli e secoli, come vediamo che avviene attualmente degli orifizî persistenti del Vesuvio e dell'Etna; 2.° nei prodotti d'una catena d'orifizî isolati, che attraversa l'intera contrada, ove le eruzioni furono limitate, forse uniche; per cui sorsero coni craterici limitatissimi, paragonabili al Monte Nuovo, che sappiamo prodotto da una sola eruzione. I quattro gruppi principali sono il Mont Dore, il Cantal, il Canton d'Aubrac ed il Mezen.

490. Il Mont Dore è un cono regolarissimo, che si eleva arditamente fino a 1880 metri sul livello del mare. La sua vetta è coronata di picchi, che cingono due larghi abissi in forma di crateri. Lave trachitiche e basaltiche, alternanti coi rispettivi detriti vulcanici, formano la compagine della montagna. Parecchie eminenze trachitiche sporgono a guisa di grumi sui fianchi regolarissimi del cono, e le lave basaltiche, assai più fluide in origine, discesero come correnti correndo fino alla distanza d'oltre 30 chilometri. Le correnti basaltiche, del pari che le trachiti, si mostrano ora in forma di colossali colonnati, o di ammassi tabulari. Minori coni d'aspetto più recente sorgono qua e là entro il gran perimetro del Mont Dore, da cui certamente si sfogarono le ultime eruzioni di quel vulcano, il quale nel suo complesso ci richiama l'Etna, le cui eruzioni al presente hanno luogo dai fianchi e dalla base, piuttosto che dalla sommità.

491. Il Cantal assomiglia al Mont Dore e per la sua forma e per la sua composizione; ma è assai più imponente. Il suo picco più eccelso, il Plomb du Cantal, non si eleva che 1830 metri, ma le sue basi ricoprono una estensione forse quadrupla di quella occupata dal Mont Dore. Le lave che discendono dalle vette del Cantal, si distendono fino alla distanza di 30 a 50 chilometri. I suoi detriti si sparsero talora entro i bacini d'aqua dolce, e ne risultarono de' sedimenti misti di cenere, di basalte e di calcare. Per la stessa ragione abbondanti letti di ligniti trovansi interstratificati ai tufi vulcanici. È da questo vulcano che si dipartono quelle piattaforme basaltiche, alle basi del gran cono; non altro che grandi correnti, le quali già discendevano sui fianchi del cono, dilatandosi nei piani circostanti, e vennero poi profondamente incise dai torrenti, e ripartite in isolate piattaforme. Per formarci un'idea della potenza di quelle correnti, basti il riferire come le colonne basaltiche, che ne misurano lo spessore, vantano talora la lunghezza di 50 metri.

492. A mezzodì del Cantal si eleva un altro gruppo più piccolo di piattaforme basaltiche. Sono i vulcani del Canton d'Aubrac, le cui lave riposano uniformemente sui graniti, coronando le più alte eminenze. Quei vulcani non furono, dice Scrope, oggetti di speciali studî.

Digitized by Google

493. La regione montuosa, detta il Mezen, ove la Loira ha la sua sorgente, costituisce il quarto gran distretto vulcanico della Francia centrale, detto anche distretto del Velay. Il punto più culminante si eleva a 1745 metri. Vi dominano le fonoliti, le quali sembrano talora riposare sui basalti, talora invece sui graniti, ed una o due volte sulle sabbie d' acqua dolce. Enormi correnti di lave basaltiche sono discese dalle alture del Mezen, espandendosi fino a grandi distanze. Scarsi in proporzione sono i detriti vulcanici. Tutto, del resto, annuncia che questo vulcano, o questi vulcani, arsero contemporaneamente ai già descritti.

494. Oltre le grandi montagne vulcaniche si osservano nella Francia centrale molte centinaje di punti di eruzioni isolate, che diedero luogo alla formazione di quei coni regolarissimi, a crateri conservatissimi, da cui sembrano rovesciarsi anche in oggi correnti di lava quasi inalterata, e sono questi coni principalmente, che, meravigliosamente allineati e così evidentemente caratterizzati come vulcani, formano la meraviglia di quel distretto, e fermano l'attenzione anche dei più profani alla scienza. Alcuni di quei coni vulcanici arsero probabilmente insieme ai grandi vulcani, di cui potrebbero figurare come emissarî laterali, e come parassiti. Infatti non conservano que' coni di cenere e quella fisonomia di freschezza che caratterizzano i più, i quali debbono già perciò ritenersi più recenti. Le loro lave, inoltre, furono già dalle valli profondamente solcate. Alcuni certamente, dice lo Scrope, eruppero quando i laghi terziarî non erano ancora asciutti; tanto è vero che i lapilli e le lave si mescolano al sedimento marnoso dei laghi, risultandone un peperino calcareo, e fin talvolta il basalte ed il calcare alternanti fra loro. Altri sboccarono dal granito, inondarono di lave il pendio, e corsero a coprire la formazione d'acqua dolce, dilagandosi in quelle bassure, che ora, profondamente incise dalle acque, figurano come altipiani coperti di lave e di tufi. In epoca più recente sorsero que' gruppi, quelle catene di coni di ceneri, così numerosi, così regolari, così ben conservate, che il Monte Nuovo, e i coni parassiti dell'Etna, si direbbero più antichi. Questi coni si mostrano nell'Alvernia e nel distretto più meridionale, detto Vivarais. Benchè i coni siano spesso conservatissimi, le lave che ne dipendono furono però anch' esse profondamente incise, sicchè non vi ha dubbio che alcuni rimontino ad una grande antichità. Le lave sono principalmente basaltiche; ma si notano nei dintorni di Clermont quei dômi di trachite, dei quali abbiamo già parlato (§ 292), che si levano in forma di campana da regolarissimi crateri, e cui lo Scrope vuole formati da un accumulamento verticale di una lava vischiosa e pastosa. Quella trachite è detta domite, dal nome del cono più considerabile di quella catena, il celebre Puy de Dôme. Essa catena vanta 64 vulcani allineati sull' asse del grande Puy, 39 a nord e 25 a sud di quella eminenza, che si leva a 1465 metri sul livello del mare. Si notano in quella catena diversi crateri-laghi, o crateri-pozzi, i quali presentano il preciso tipo dei *Maar* dell' Eifel. Come i *Maar* dell' Eifel sono scavati immediatamente nelle rocce devoniane, così questi si sprofondano o nel granito o nel basalte, e il detrito, composto di scorie e di lapilli, è accumulato sui labbri del cratere. Anche i pozzi dell' Alvernia non furono prodotti da una esplosione, come universalmente si crede; ma furono trapanati, dalla colonna di vapore, come i più communi crateri, e come crediamo aver dimostrato pei *Maar* dell'Eifel (§ 319).

495. Quanto all' età di quei vulcani, noi abbiamo già avuto occasione di fissarla sulla scorta di Lyell. Abbiamo già infatti riprodotto dal *Manuel*, del citato autore (§ 426), lo spaccato della valle della Couze (fig. 31), sul quale, se le apprezziazioni di Lyell sono giuste, si legge così bene la storia de' vulcani dell' Alvernia. Dal com-

plesso dei fatti, risulta indubbiamente, che i vulcani dell'Alvernia cominciarono le loro eruzioni a partire dall'eocene superiore, o fors'anco soltanto dal miocene inferiore, e le continuarono fin durante il periodo glaciale, toccando probabilmente il periodo attuale od antropozoico. Questa probabilità, che i vulcani della Francia centrale siano stati veduti ardenti dall'uomo, desunta dalla natura della fauna mista alle alluvioni, studiato nei loro rapporti geologici colle rocce eruttive, questa probabilità, dico, sembra levarsi a certezza, se crediamo ai documenti storici, i quali prolungherebbero l'attività vulcanica fino ad un periodo ben avanzato dell'êra nostra.

496. Una singolare polemica sostenuta vivamente in Inghilterra tra il vescovo anglicano Colenso e il signor Garbett, servì a trarre in luce un fatto interessantissimo, del pari che, a quanto sembra, indubitato. Le eruzioni nella Francia centrale si prolungarono fino ad epoca recentissima, niente meno che fino al V secolo dell'êra cristiana. Il vescovo Colenso, dalla perfetta conservazione dei coni di scorie e di pomici affatto incoerenti, che si osservano nell'Alvernia e nella Linguadoca, ne traeva argomento contro le idee generalmente ricevute circa il diluvio noetico. Gli oppositori armarono contro il vescovo il fatto, che il rito delle *Rogazioni* fu introdotto da Claudiano Mamerto, vescovo di Vienna di Francia, per scongiurare i terremoti, le eruzioni vulcaniche, e altri flagelli, che desolavano quei paesi. Colenso rispose che i documenti a cui si possono attingere le notizie circa l'istituzione delle *Rogazioni* alludono a terremoti, a incendî, a meteore luminose, a invasioni di belve, e non a eruzioni vulcaniche. Vienna è troppo lontana dalle regioni vulcaniche. Quanto alla difficoltà dedotta dalla distanza di Vienna dalle regioni vulcaniche, bisogna osservare che la distanza di 150 a 200 chilometri dai vulcani dell'Alvernia non toglierebbe ogni possibilità che vi fossero giunti direttamente i prodotti delle eruzioni, i lapilli e le ceneri, mentre è noto che il detrito sparpagliato dal Conseguina nel 1835, si distese visibilmente sopra un raggio di 1000 a 1100 chilometri (Scrope, *Les volcans*, pag. 205). Uno dei passi più decisivi è tratto da una lettera di Sidonio Apollinare, vescovo di Clermont, della città che è posta precisamente nel cuore della regione vulcanica. Essa fu scritta a Claudiano Mamerto verso il 460. Anche qui tuttavia si parla di fenomeni che sparsero il terrore a Vienna, tali però che ancora continuavano nell'Alvernia. Dopo essersi infatto lodato dell'introduzione delle *Rogazioni*, stante i terrori che ancora invadevano gli abitatori dell'Alvernia, così prosegue: « Poichè non ignoriamo che nei primi tempi in cui tali preghiere furono istituite, la città che ti è dal cielo confidata, era da simili prodigi spaventosi resa deserta. E in vero ora le pubbliche mura erano scosse da ripetuti terremoti; ora i fuochi, spesso infiammandosi, accumulavano monti di cenere sopra i tetti caduchi; ora gli audaci cervi, resi meravigliosamente dômi dal terrore, apparivano nelle piazze, ecc. » L'inciso, ove si parla di fuochi e di monti di ceneri, come potrebbesi interpretare altrimenti, se non alludesse ad eruzioni vulcaniche? Il latino del testo suona così: *nunc ignes sæpe flammati caducas culminum cristas superjecto favillarum monte tumulabant.* Le memoria da cui estraggo queste notizie (Bonney, nel *Geological Magazine*, n. XII, 1865, pag. 242) traduce *caducas culminum cristas*, creste tremolanti delle sommità delle montagne (*tottering crests of the mountain-summits*), ma a torto, poichè il nome di *culmina* alle sommità dei monti, non può applicarsi che in senso traslato, essendo in senso proprio devoluto ai tetti delle case (V. il *Glossarium* di Du Cange, pubblicato da Herschel). Le città deserte non poterono essere per eventuali incendî, ma per incendî durevoli, di misteriosa origine per cui, scriveva Sidonio: *assiduitatem furentis incendii, aqua potius oculorum, quam fluminum, posse restingui* (Sidonii, *Opera*. Parisiis, 1614, pag. 165).

497. Un secondo passo è tratto da una omelia sulle *Rogazioni* di Alcimo Avito arcivescovo di Vienna sul principio del sesto secolo, ove, ricordando i flagelli che diedero origine a quel rito espiatorio, parla di frequenti incendî, di terremoti assidui, di suoni notturni, di cervi che si riparano entro la città, di un qualche cosa di prodigioso, che minacciava distruzione alla città, ricordando i fuochi di Sodoma: « incendia crebra, terræ motus assidui, nocturni sonitus, cuidam totius urbis funeri prodigiosum quiddam minitabantur ». Il signor Bonney cita un buon numero d'altri passi d'autori, da cui risultano, più o meno distinte, le stesse cose. I fenomeni a cui tutti distintamente accennano, e sui quali non si può ammettere controversia, sono i terremoti, e l'apparizione di cervi e di animali selvatici entro le mura della città. I terremoti entrano nell'inevitabile corteo delle eruzioni vulcaniche; e il fatto di bestie selvatiche cacciate dal terrore entro la città, si cita come avvenuto durante la già citata eruzione del Conseguina nel 1835. Per quanto riguarda i fuochi vulcanici, e le dejezioni di ceneri, i testi, prosegue Bonney, sono meno decisivi; ma non si saprebbe poi qualo altro senso attribuire, con maggiore sicurezza, a quelle espressioni. È bensì vero che in alcuni fenomeni citati si posson riconoscere altri fuochi non propriamente vulcanici. Nella lettera di Sidonio si parla, per esempio, di fiamme sorte in modo prodigioso nella città di Vienna, cui San Mamerto ripiegò e mise in fuga in presenza di tutto il popolo: e nella omelia di Avito si ricorda come nella vigilia di Pasqua, nell'intorno del palazzo reale, destossi un fuoco prodigioso (*divino igne*). Vedasi in proposito il *Magnum Theatrum* di L. Beyerlinck (tom. VI, lettera *R*, pag. 367). Le emanazioni di gas infiammabile accompagnano le eruzioni vulcaniche, e costituirono uno dei fenomeni più saglienti nell'ultima eruzione di Santorino. Ma ancora, come si spiegherebbero i monti di cenere, accumulati sui tetti? per cui la probabilità di vere eruzioni vulcaniche nella Francia centrale, verso la metà del V secolo, si eleva quasi, storicamente, al grado di certezza.

498. Ho insistito sopra questa specialità troppo più che nol comporti l'indole di un trattato generale. Mi giustifico tuttavia facendo osservare come, ammesso il fatto di eruzioni d'epoca così recente nella Francia centrale, ne scaturiscono spontanei dei riflessi che interessano altamente l'endografia.

1.° Ammesse le eruzioni nella Francia centrale nel V secolo, sono, per dir così, ringiovaniti, per rimbalzo, tutti i distretti vulcanici dell'Europa, quelli principalmente dell'Italia centrale, dell'Eifel, della Spagna, che, per l'integrità di tutto l'apparato vulcanico, si assomigliano tanto ai distretti vulcanici dell'Alvernia, ecc.

2.° Essendo indubitato che le eruzioni dei vulcani della Francia centrale rimontino fino almeno all'epoca del miocene inferiore, abbiamo uno splendido argomento da aggiungere ai mille, da cui risulta che l'attività vulcanica può persistere nella stessa regione durante un lasso di tempo che si misura colla immensità delle epoche geologiche. L'epoca quaternaria non sarebbe in questo, come in molti altri sensi, che la continuazione dell'epoca terziaria.

3.° Anche da fatti certissimi non dedurremo mai delle conclusioni, che, per essere fondate, richiedono la cognizione della totalità dei fatti. È una massima prudenziale che va molto inculcata ai geologi.

499. I vulcani recenti non sono ristretti alla sola Francia centrale. A Rougier, Ollioules, La Motte, e in qualche altro punto si osservano lave basaltiche. In questa ultima località si osserva un cono franato regolarissimo. Esiste un vulcano estinto a Beaulieu presso Aix; ed il lago di Beaulieu, nel dipartimento delle Bocche del Rodano, è basaltico. Non meno di sette differenti orifizî di eruzione si rimarcano nel

Digitized by Google

dipartimento del Varo, a nord di Antibo, sul fianco occidentale delle Alpi marittime. Altri punti d'eruzione, d'una data comparativamente moderna, si osservano tra Agde e Béziers, dove si distingue un cono di ceneri, perfettamente conservato, da cui irradiarono parecchie correnti di lave (Scrope, *Les volcans*, pag. 363). Così si arriva, con una serie quasi non interrotta di vulcani, alla regione de' Pirenei.

500. Nella catena de' Pirenei abbondano, come in tutte le grandi catene, le rocce eruttive, e furono oggetto di molti studî, d'ordinario però occasionali e passaggeri. Colpì l'abbondanza delle rocce serpentinose, e si compresero sotto il nome di *ofiti de' Pirenei* tante rocce, che non sono nè ofiti, nè serpentine. Ad ogni modo le rocce, dette *ofiti*, s'incontrano non solo ne' Pirenei propriamente detti, ma anche ne' paesi adjacenti, a ragguardevoli distanze, come nelle Lande, nei Bassi Pirenei, e nelle Corbières. L'Oceano ne bagna co' suoi flutti parecchie masse, situate lungo le coste della Biscaglia. All'estremità opposta dalla grande catena troviamo le colline secondarie dei dintorni di Fiton; e della piccola catena di Font-Froide che immerge i suoi piedi terziarî nel Mediterraneo o nelle littorali lagune. Così Nogués, il quale pubblicò recentemente un pregevolissimo lavoro (*Ophîtes des Pyrénées.* Lyon, 1865), al quale attingiamo le più importanti notizie su quelle eruttive formazioni. La memoria di Nogués è diretta principalmente contro Virlet, il quale nelle ofiti de' Pirenei altro non vedeva che una formazione sedimentare ad orizzonte fisso, cioè appartenente all'epoca del Muschelkalk. Nulla di strano per noi che le ofiti de' Pirenei si presentino in espaudimenti stratiformi, i quali si estendono, come ce ne assicura Virlet, sopra uno spazio di 200 chilometri. Ma dalla forma a strati noi non possiamo dedurre alcun argomento in prova dell'origine sedimentare, di quelle rocce, combattuta, del resto, da Nogués, con tutti gli argomenti di fatto, che si possono dedurre dalla forma di filoni e di dicchi, dal metamorfismo e dalle analogie colle altre rocce sicuramente eruttive.

501. Trattando della natura litologica, Nogués, riparte le ofiti de' Pirenei in diversi gruppi già noti, cioè nelle dioriti o diabasi, nelle anfiboliti, nelle lherzoliti, nei porfidi pirossenici, nelle euriti e nelle spiliti. Quanto alla loro età, l'autore dimostra che le ofiti rimontano ad epoche diverse. Alcune di esse hanno fortemente dislocato i terreni giuresi, cretacei e nummulitici; cioè, direm noi, eruppero in seguito al dislocamento di quei terreni, e rimontano quindi ad un periodo d'intervallo tra il nummulitico e l'eocene superiore, dicendo Nogués, che l'eocene superiore ed i terziarî più recenti, non furono punto sturbati da eruzioni ofitiche. Altre invece appartengono ad epoche più antiche, risultando, in fine, che le eruzioni ofitiche cominciarono col lias, od al più presto col trias, e finirono col nummulitico (eocene medio per noi).

502. Ma alla base de' Pirenei, come alla base delle Alpi, si scoprono i prodotti di più recenti eruzioni, anzi interi distretti vulcanici, i quali stanno assai bene in rango con quelli della Germania e della Francia centrale. Scrope e Lyell ci hanno ambedue informati dei particolari interessanti relativi ai vulcani più recenti della Spagna. Cominciano colle isole Baleari, le quali sono evidentemente, dice lo Scrope (*Les volcans*, pag. 360), la continuazione di una catena, che lega la Sardegna alla Sierra Morena in Ispagna. Nell'isola Majorca le dioriti hanno traforato fin le rocce cretacee. Il gruppo delle isole poi, che si mostrano fra Majorca e la costa spagnuola, dette Columbretes, è vulcanico, e la più grande di esse contiene, secondo il capitano Smyth, un cratere franato, lave trachitiche, obsidiane e scorie. Passando in Spagna, sempre colla scorta dello Scrope, troviamo una zona vulcanica che, dalla costa di Valenza, si prolunga nella provincia di Murcia e dell'Andalusia, dal capo di S. Martino, per

la regione di Cartagena, fino al Capo di Gata. Le trachiti ed i conglomerati trachitici sono sviluppatissimi su quella zona, e vi si rimarcano parecchi coni di cenere, di aspetto assai moderno, principalmente sulle coste. Un gran cono craterico esiste, per esempio, presso Orihuela, da cui poderose correnti di lava si dilagarono all' ingiro. Rocce eruttive di apparenza moderna si trovano anche tra Malaga e Gibilterra. Al di là dello Stretto, sulla estremità occidentale della costa, scopronsi avanzi vulcanici, poco noti, presso il Capo S. Vincenzo, e nella Sierra Calderona, che vuolsi così nominata a motivo dei crateri che vi sono ancora visibili. La provincia di Beira ha una montagna che è, secondo Dolomieu, un cono vulcanico molto elevato, e coronato da un cratero chiamato Sierra dell'Estrella. Vaste piattaforme basaltiche si scoprono alle foci del Tago, o rocce trachitiche e augitiche furono eruttate in gran copia nella provincia di Biscaglia, a nord di Bilbao. Benchè ci manchino studî positivi sulla età geologica dei distretti fin qui accennati, l' esistenza dei crateri, l' indole delle rocce (trachiti e basalti) e quel complesso che li assomiglia ai distretti vulcanici della Germania e della Francia centrale, ci persuadono del loro sincronismo con quelli, sicchè anch'essi rimontano a quella grand' epoca di vulcanismo europeo, subaereo o appena sottomarino, che si aperse col sollevamento del continente, posteriormente al periodo nummulitico, e abbraccia specialmente il miocene, il pliocene ed il post-pliocene.

503. Qualche cosa di più positivo abbiamo circa il distretto vulcanico più celebre di quella regione, cioè circa la regione vulcanica del bacino dell'Ebro in Catalogna. Togliamo dal *Manuale* di Lyell le seguenti notizie. La totalità della superficie ricoperta dai prodotti vulcanici in Catalogna non sorpassa i 27 chilometri da nord a sud, ed è di circa 10 chilometri da est ad ovest. I coni vulcanici sono da 14 a 15; hanno aspetto molto recente, e occupano esclusivamente, nei dintorni d' Olot, una stretta zona che corre da nord a sud. Poderose correnti di lava se ne dipartono lateralmente. Le eruzioni si apersero la via attraverso dei grès, e dei letti di calcare nummulitico. Esse eruzioni non hanno punto alterato la preesistente orografia del paese, e le lave scorsero per le valli, tenendo quella via che terrebbero oggi, salve le modificazioni apportate dalle stesse lave, o dalle erosioni fluviali. Qui infatti, come nell' Alvernia, i fiumi, i torrenti, hanno già scavato letti profondi. I crateri, tuttavia, sono conservatissimi, e il più grande di essi, detto Santa Margherita, vanta il giro di un chilometro e mezzo, e una profondità di 137 metri. Coperto di ricche foreste, richiama il cratere di Astroni presso Napoli. Quanto alla natura delle rocce esse consistono in basalti compatti, o porosi, o scoriacei, più di ceneri, ossia di tufi, che attingono talvolta un considerevole spessore. Tutto ci assicura che noi abbiamo a fare qui, come nell'Alvernia, con un distretto vulcanico affatto subaereo, anzi intercontinentale. Oltre ai perfetti apparati dei vulcani subaerei, ce ne assicurano le alluvioni interstratificate ai letti vulcanici, e quella nominatamente, della potenza di parecchi metri, la quale, come ce ne assicura Lyell, si distende orizzontalmente tra le antiche rocce marine, sollevate sotto un angolo risentito o gli espandimenti vulcanici, cioè le correnti di lava sovrapposte, che si mostrano pure sensibilmente orizzontali. Il fatto è messo in tutta evidenza dallo spaccato di Castell-Follit, che noi abbiam già avuto occasione di descrivere (§ 425) quando parlammo dei dati sui quali si può stabilire la cronologia endografica. I vulcani di Catalogna eruppero al certo posteriormente all'eocene; Lyell inclina a crederli pliocenici: ma è assai probabile, stante la freschezza di quegli apparati, che appartengano ad un' epoca ancor più vicina a noi. I terremoti che hanno agitato in questi ultimi cinque secoli i Pirenei, specialmente la regione tra Perpignan ed Olot,

Digitized by Google

distruggendo nel 1421 quest' ultima città, ci attestano un' attività persistente nell' interno tale, che non devono risalire ad epoca molto rimota le sue esterne manifestazioni.

504. Venendo all'Italia ci troviamo in una regione, quasi l'unica dell'Europa, in cui i sotterranei incendî divampino ancora, e con tanto furore, attualmente. Ma anche qui, partendo dalle eruzioni porfiriche, cui segnalammo nel periodo dell'infralias, ebbimo, secondo ogni apparenza, un lungo periodo di pace, che prolungossi, durante tutta l'epoca del *giura* e della *creta*. Solo verso la fine dell' epoca cretacea ridestossi il vulcanismo nella penisola, ed abbiamo veduto le doleriti sottomarine degli Euganei alternare cogli strati marini fossiliferi della scaglia. Ma anche in Italia il vulcanismo moderno è, in genere, conseguenza di quel sollevamento, che aggruppò i continenti intorno al polo artico, a partire dal periodo nummulitico.

505. Gli stessi colli Euganei erano già sollevati, quando eruppero le trachiti, le rocce che veramente danno a que' colli il carattere di un distretto vulcanico. Le trachiti vi si trovano in filoni ed in grandi masse, spesso colonnari, ed abbiamo già riportata la descrizione (§ 332) che il signor Rath ci dà del magnifico espandimento trachitico di Schivanoja, nei dintorni di Castelnuovo, già accennato da Marzari, come giacente sopra Marne grigie, le quali sono dal De Zigno riconosciute terziarie. Rath vi distingue tre varietà di trachiti: 1.° *Oligoklas-trachyt*, quella in cui l'oligoclasio tien luogo del sanidino; 2.° *Sanidin-oligoklas-trachyt*, con cristalli di sanidino, come quella del Drackenfels nel Siebengebirge; 3.° *trachite quarzifera*, e a questa appartengono le perliti e le retiniti sviluppatissime in quo' colli.

506. A nord-ovest dei colli Euganei, troviamo l' altro celeberrimo distretto vulcanico che comprende i colli Berici, e le eminenze del Veronese, che fanno scarpa alle Alpi, continuandosi colle celebri località di Valdagno, di Schio, e di Thiene, formanti un gran complesso, monumento d' una grandiosità eccezionale della vigoria vulcanica, che esercitossi ai piedi delle Alpi, partendo da quell' istante, a cui alludemmo più volte, da cui cominciarono le mosse del maggiore sollevamento alpino, anzi continentale.

507. Il distretto vulcanico del Vicentino fu soggetto di replicati studi, da parte dei geologi veneti, cominciando da Fortis, e dei più celebri geologi stranieri. Dovendo però essere breve, io mi atterrò a quanto riferisce il signor Suess di Vienna, in una sua recentissima memoria (*Vicentin. Tertiärgebirges*, Sitzb. k. Akad., Vol. 58), la quale ci porge il miglior saggio di cronologia vulcanica, che abbia visto la luce finora.

508. I basalti vicentini appartengono a diversi periodi terziarî. Molte di quelle masse, a cui si attribuiva già tanta virtù di sollevamento, altro non sono che o porzioni di correnti od espandimenti interstratificati. Cominciano immediatamente sopra la *scaglia* (creta superiore) e terminano cogli strati di Castel-Gomberto, equivalenti degli strati miocenici di Gaas e di Weinheim. Più volte le faune marine si alternarono colle faune o piuttosto colle flore terrestri. Il Vicentino rinnovò nell'epoca terziaria lo spettacolo che presentava la Scozia nell' epoca carbonifera. Le lave basaltiche ed i lapilli, prodotti da vulcani subaerei, od appena sottomarini, vennero più volte a distendersi sui fondi marini, ricchi di una fauna brillantissima, e più volte il detrito de' coni, disfatti dalle onde del mare, servì di ricetto alle più vaghe marine conchiglie; e più volte affogate nelle onde, o sepolte sotto le ceneri, si trovarono le palme gigantesche che adombravano le vicentine maremme, come già furono inghiottite dal mare e sepolte dai vulcani le vergini foreste di *Sigillaria* e di *Lepidodendron*,

Digitized by Google

che ricoprivano le maremme della Scozia. Nel Vicentino prevale l'indole marina dei tufi e dei basalti; il che ci fa pensare, che si trattasse veramente di un arcipelago vulcanico nel mare terziario, i cui prodotti venivano immediatamente inghiottiti dal mare, od in seguito demoliti, e ridotti a sedimento sottomarino. Spesso, infatti, i tufi del Vicentino contengono fossili; ma sempre, dice il signor Suess, sono marini, salvo quelli di certi tufi, appartenenti ad una gran corrente, detta del Faldo, la più poderosa di tutte, e che corona le cime terziarie del Vicentino. I fossili contenuti in que' tufi sono reliquie di animali terrestri, o di acqua dolce.

509. La natura dei tufi, come gli avanzi organici, rendono probabilissimo il sincronismo tra i basalti del Vicentino e quelli del Tirolo, ossia della valle dell'Adige fino a Trento e Roveredo. Anche là le masse basaltiche non sono che pezzi di correnti, o di espandimenti. Così troviamo ora, diviso da alte catene di monti, ciò che in allora formava un solo sistema di espandimenti vulcanici sopra un fondo marino, o sopra bassure maremmane, che si distendevano certo assai più di quanto nol vogliano i rapporti stabiliti da Suess tra i basalti del Vicentino e quelli del Tirolo. Sappiamo infatti come i depositi eocenici, che coronano le vette dei Diablerets, a 3052 metri sul livello del mare, richiamino, non solo per le specie dei fossili, ma per la natura della roccia, le brecciole vulcaniche marine del Vicentino. L'eocene nel gran gruppo del Monte Bianco è rappresentato dal *macigno alpino* in forma di grès, di conglomerato, e di schisto. Ma, osserva Favre (*Explication de la carte géologique des parties voisines du Mont Blanc*), esso *macigno* alterna talora col *grès di Taviglianaz*, il quale offre tutti i caratteri di una cenere o di un tufo vulcanico, ed esprime quindi l'idea che quel tufo, in concorso col terreno nummulitico come le rocce trappiche del Vicentino, abbia la stessa epoca e la stessa origine di quelle. L'altezza a cui attingono i terreni terziarî, l'eocene come il miocene, nelle Alpi, ci dice come in quelle epoche non potevano ancora le Alpi figurare altrimenti che come una catena di scogli, battuti dal mare terziario. Qual meraviglia adunque, domando col signor Favre, che i prodotti dei vulcani vicentini, si deponessero in seno allo stesso mare, nei paraggi della Svizzera, e precisamente ai Diablerets, dove ora sorgono le casipole di Taviglianaz?

510. Tornando ai nostri vulcani del Veneto, osserva il signor Suess, come i basalti attingano il loro massimo sviluppo nel Veronese, e come le correnti del Vicentino aumentino di potenza andando verso est, e siano più sviluppate sul lembo settentrionale che sul meridionale dei colli Berici. Dette correnti, poi, parrebbero morire verso Bassano. È difficile ad ogni modo, avverte il signor Suess, fissare i punti dai quali le correnti pigliarono le mosse, e sapere se le lave siansi riversate piuttosto da crepacci, che da crateri. Per me crepaccio e cratere sono la stessa cosa; salve le modalità per cui si distingue un cratere sottomarino da un cratere subaereo. I tufi del Vicentino, composti di ceneri, di lapilli, e d'informe pietrame, più le lave bollose, scoriacee, amigdaloidi, non ci lasciano verun dubbio sull'indole subaerea di molte di quelle eruzioni. Sempre inteso però che le lave ed i detriti vulcanici sommersi in mare immediatamente, o distribuitivi poi per la potenza erosiva delle onde, non possono presentarsi che sotto forma di espandimento o di interstrato; e sarebbe la cosa più vana il pretendere di scoprirvi od un cratere, o qualunque parte di ciò che noi abbiamo detto apparato dei vulcani subaerei.

511. Seguiamo piuttosto il signor Suess ne' suoi preziosi particolari di cronologia vulcanica.

1.° Le prime eruzioni cominciarono coi *tufi di Spilecco*, verdi e rossi, contenenti

denti di pesci in gran numero, con *Rhynchonella polymorpha*, *Bourguetocrinus*, ecc. Questi tufi riposano immediatamente sulla scaglia; stanno, cioè, alla base dell'eocene, rappresentando fors' anco un piano medio fra la creta ed i terreni terziarî.

2.° Si trovano, ascendendo, dei basalti e dei tufi, associati ai calcari, formanti un complesso, che primeggia per la sua potenza. Le poderose correnti ed i diluvî di ceneri si ammassavano sul fondo marino, ove, nei periodi di riposo, pullulavano i calcari, che quasi si fondono coi tufi vulcanici, e che devono specialmente agli organismi marini la loro origine. A questo gruppo, strettamente eocenico, appartengono i più celebri depositi fossiliferi, che arricchirono oggimai tutte le collezioni d'Europa. A questo livello, infatti, si riferiscono i celebri schisti ittiolitici e fitolitici del Monte Bolca; i calcari ad Alveoline di Cima di Giovo presso Novale, della Gichelina presso Malo, e del Monte Postaro; i calcari ricchissimi di Echini a Brusaferri, Valecco, Magré, ecc.; i tufi di San Giovanni Ilarione, Ciuppo, Castione, ecc., i cui fossili furono in parte determinati da Hébert, e riferiti al *calcare grossolano* di Parigi (eocene medio. *Parte seconda*, § 629). Vi si scopre diffatti il *Cerithium giganteum*. Anche i famosi tufi di Roncà, così rigurgitanti di conchiglie marine, fra le quali primeggia lo *Strombus Fortisii*, appartengono a questo orizzonte. Sono brecciuole basaltiche, cioè detriti vulcanici rimestati, che giacciono sopra una corrente di basalte, e sono ricoperte da altri tufi, ai quali si addossano altri calcari nummulitici, ricoperti anch'essi, alla loro volta, da tufi basaltici. Con questi ultimi tufi, noi siamo passati da una regione marina ad una plaga maremmana. Que' tufi basaltici alternano con ligniti, non altro che torbe di antiche lagune, abitate da conchiglie d'acqua dolce (*Lymneus*), da tartarughe (*Trionyx*), da coccodrilli (*Crocodylus*), e cinte di basse terre, ove si addensavano le foreste di palme, popolate da conchiglie terrestri (*Helix*, *Cyclostoma*). Allo stesso orizzonte appartiene finalmente la Flora di Monte Vegroni presso Bolca, associata ad una grande corrente di basalte, detta *corrente di Faldo*.

3.° Più recente, ma ancora strettamente eocenico, segue il *gruppo di Priabona*, composto di calcari, a cui si associano i basalti. Questo gruppo ha il suo maggiore sviluppo nei colli Berici: contiene ancora, colle *Orbituline* e colla *Serpula spirulea*, il *Cerithium giganteum*.

4.° Segue un gran gruppo di schisti e di arenarie, ricchi di fossili marini, e di una splendida flora terrestre. Le palme dissepolte a Salcedo, coperte da tufi vulcanici, ci narrano uno de' più brillanti episodî di questa allor tropicale regione, che noi cerchiamo di rendere viva paragonandola a Giava. In questo, e nel precedente gruppo, esistono de' fossili riferiti agli *strati di Biarritz*.

5.° Siamo al *Gruppo di Castel-Gumberto*, composto anch'esso di calcari assai fossiliferi, e di tufi vulcanici. Sono strati miocenici, che contengono, nelle ligniti di Monte Viale, l'*Anthracotherium magnum*, con altri fossili riferibili agli strati di Gaas e di Oberburg. Con questo gruppo si spegne l'attività vulcanica nel Vicentino. Non s'incontra, infatti, nessun indizio di vulcano nelle formazioni superiori, che chiudono la serie de' terreni nel Vicentino, e sono:

6.° *Strati di Schio*, calcari ricchi di fossili.

7.° Marne bleu, sabbie, conglomerati, che si vollero pliocenici, ma che pajono ritenuti da Suess, ancora come miocenici.

512. I colli Euganei, e i dintorni di Vicenza, ci hanno svelato complessivamente una grande regione vulcanica, la cui attività risponde principalmente ai periodi terziarî più antichi. Non pare che esistessero altri vulcani nè in quell'epoca, nè poi, al piede delle Alpi. Cercandone tracce nell'Appennino, noi ci troviamo di nuovo a fronte

Digitized by Google

dei serpentini, dei quali ci siamo già occupati parlando dei vulcani cretacei. Abbiamo già veduto che le rocce serpentinose dell'Appennino appartengono, come quelle dei Pirenei, ad epoche diverse, come sono di diversa natura. L'epoca però del loro principale sviluppo si ritiene il miocene (§ 472).

513. Uno de' più vasti distretti vulcanici, che si riferisce ad epoca geologica molto recente, è quello che si distende sopra larghissima zona, e percorre da nord a sud tutta la metà occidentale dell'isola, in Sardegna. Quei vulcani, descritti da La Marmora, eruttarono dai primordi del periodo miocenico fino a quelli dell'antropozoico. Alcuni tufi trachitici contengono conchiglie d'acqua dolce d'epoca miocenica. Altre trachiti sono miste a strati marini del pliocene, e talora vaste estensioni basaltiche coprono i calcari subappennini. Fra queste notasi il Monte Ferra, di 1000 metri di altezza, sulla base di 50 miglia geografiche. Grès quaternarj e panchine accompagnarono le più recenti eruzioni, o le seguirono. Più recente ancora è la fila di venti a trenta coni di cenere, ciascuno con una corrente di lava, tra Cagliari e Sassari; ma anche questi vulcani precedettero nell'isola la venuta dell'uomo, che vi eresse con quelle lave le più antiche costruzioni. Si osserva però come un antichissimo coccio, scoperto dal La Marmora, in uno strato marino, elevato fin 100 metri sul livello del mare, dimostra come l'uomo fu testimonio delle ultime convulsioni dell'isola. All'epoca terziaria rimonterebbero pure le rocce vulcaniche della Corsica, o il gruppo dei serpentini e dei trapp sulle coste occidentali da Genova, presso Savona (Scrope, *Les volcans*, pag. 351.)

514. Siamo al distretto più classico per l'Italia, o ad uno dei distretti vulcanici più interessanti del globo. Parlo de' vulcani dell'Italia centrale. Prima di occuparci di quella celebre zona di vulcani estinti, che, dai confini della Toscana, si spingono fin verso il golfo ove arde il Vesuvio; dirò una parola sopra un distretto, che si può considerare come un'appendice del grande distretto vulcanico, ma che in realtà rappresenta un sistema a sè, tanto per riguardo all'età, quanto per rapporto alla natura delle rocce, e sopra tutto alla forma geologica. Parlo dei *monti della Tolfa*, gruppo irregolarissimo di selvagge eminenze, che sorge ad ovest di Roma, tra il lago Bracciano e Civitavecchia. Questo gruppo fu da molti, ma più recentemente descritto dal signor Rath (*Fragmente aus Italien*, *Zeitschr. d. deutsch. Geolog. Gesellsch.* 1866), dal quale attingiamo le nozioni seguenti.

515. I monti della Tolfa sono divisi dal mare mediante la pianura, la quale consta di depositi marini, pliocenici e recenti. Il loro sollevamento però precedette sicuramente il periodo pliocenico. Rath è anzi d'opinione che quei monti appartengano alla catena sud ovest dell'Appennino, detta da Savi *catena metallifera*, non altro infine che la catena littorale, la quale si stacca dal vero Appennino nei dintorni della Spezia, e comprende le Alpi Apuane, il monte Pisano, l'Isola d'Elba, i monti di Campiglia, il monte Argentaro, così continuandosi coi monti della Tolfa. Per mio avviso quella catena littorale appartiene, geologicamente, al sistema alpino, mentre vi si riconosce la serie dei terreni alpini, col *facies* che hanno nelle Alpi. Benchè il professor Ponzi ritenga non esserci strati più antichi dell'eocene inferiore; tuttavia Coquant vi scoperse un ammonite, ed il calcare rosso che vi si scopre si assomiglia al calcare rosso ammonitico (lias) delle Alpi. Del resto si discende fino agli schisti cristallini, nei quali già il Pareto scorgeva il *verrucano*, ossia il complesso de' terreni triasici e paleozoici che fu battezzato con questo nome nella Toscana da Savi. I monti della Tolfa sono assai metalliferi, contenendo galena, ferro magnetico, ferro spatico, blenda, malachite, spato fluore, ecc.

Digitized by Google

516. Quanto abbiam detto ci mostra come i monti della Tolfa non avrebbero nessuna ragione di comparire in questa rassegna dei vulcani recenti. Ma associata, alle antiche formazioni, trovasi la trachite, roccia vulcanica, la quale già per sua natura ci dà molte ragioni di considerarla come recente. La trachite forma una massa principale, potentissima, a cui si coordinano altre masse minori, isolate. Essa è una trachite ove l'oligoclasio si associa al feldspato vitreo (sanidin-oligoklas-trachyt), e, secondo Rath, assomiglia a varietà di trachiti del Siebengebirge e degli Euganei. Come negli Euganei le si associa una varietà di trachite simile a retinite. È troppo probabile che quelle trachiti, come si assomigliano, così siano contemporanee alle trachiti delle località indicate, e di tanti altri distretti vulcanici, che rimontano all'eocene od al miocene. I monti della Tolfa però si sarebbero risentiti dell'attivissimo vulcanismo, che cominciò in epoca ben più moderna ad infierire nelle vicinanze, creando i vulcani della Romagna. Tale attività si sarebbe manifestata mediante le emanazioni gazose e vaporose, per cui le trachiti della Tolfa sono modificate al modo stesso che lo sono le trachiti de' vulcani recenti. Esse sono caoliuizzate al modo delle trachiti della solfatara di Pozzuoli, e le crepature sono cambiate, come nel cratere di Latera presso il lago di Bolsena, in filoni di allume associati alla selce piromaca. Le celebri allumiere della Tolfa sarebbero dunque un prodotto dell'attività esercitata, in epoca assai recente, dai vulcani della Campagna romana.

517. I vulcani ora nominati costituiscono uno de' distretti più interessanti, e forse il più grandioso dell'Europa. Noi abbiamo già avuto occasione di descriverne la topografia e la geologia, ne' suoi tratti più fondamentali. Abbiamo veduto come i vulcani dell'Italia centrale sono allineati sopra una specie di valle longitudinale, che vaneggia fra due catene, la catena dell'Appennino e la catena del littorale; occupano cioè probabilmente una sinclinale, e ad ogni modo una linea di depressione e di frattura, che, dai confini della Toscana, si spinge, per Bolsena, Bracciano, Viterbo, il Lazio, Frosinone e Pofi, fino al Vulture, presso Melfi nella Basilicata, ed al Golfo di Napoli (§ 373). Ora ci giova entrare in altri particolari, diretti specialmente a mettere in luce l'epoca, ed il carattere geologico di un distretto, che tanto interessa la geologia del nostro paese.

518. Per formarvi un'idea di questo grande distretto, immaginatevi un seno allungato, subelittico, diretto coll'asse maggiore da nord ovest a sud est, precisamente nel senso della catena appennina. In questa elissi sono compresi, comiuciando da Acquapendente, tutti i domini di Roma, cioè i dintorni del lago di Bolsena; Viterbo co' suoi colli e col suo territorio; Bracciano col suo lago; tutta la Campagna romana, che dalle radici dell'Appennino si dilata fino al mare; Roma co'suoi colli; ed i Colli laziali, cioè i dintorni di Frascati, Velletri ed Albano. Questo è il teatro principale dell'attività vulcanica, come dei vulcanici ammassi. Più a sud est i punti eruttivi si diradano; le masse eruttate si restringono entro angusti confini: non mancano però di segnare una zona, per cui i vulcani di Roma, per Frosinone, Ticchiena, Pofi e Rocca Monfina, vanno ad unirsi ai vulcani di Napoli, ai Campi Flegrei e all'ardente Vesuvio. Il seno descritto, che è veramente tale, considerato come una depressione tra l'Appennino e la catena litorale, è ricoperto sul fondo da una distesa di tufo vulcanico; un ingente ammasso di ceneri, sabbie, lapilli, formanti quasi un gran piano, da cui sorgono isolati i grandi gruppi vulcanici, o piuttosto i grandi vulcani, che descriveremo più tardi. La campagna romana, quella sterminata landa che si diparte dalle mura di Roma, tanto verso il mare che verso l'Appennino, è la porzione più vasta, come la più conservata di questo deposito, formato da reiterate

piogge di detrito vulcanico, le quali coprirono un vasto fondo marino, su cui erano distesi orizzontalmente i fanghi, le sabbie, le ghiaje, del periodo subappennino. Le argille e le sabbie subappennine, rôse a grandi profondità dai torrenti in più luoghi, si mostrano in fatti come una enorme piattaforma, a cui si sovrappone, in perfetta concordanza, un'altra piattaforma di tufo vulcanico. E l'una e l'altra si distendono su tutto il territorio romano, come una sterminata base, da cui sorgono, a guisa di isolati monumenti, i diversi gruppi vulcanici. Quei vulcani, che eressero i loro coni, e dilatarono le loro basi su quella doppia piattaforma, dovettero traforare o gli strati subappennini, ed i tufi, o sono quindi più recenti degli uni e degli altri.

519. Per avere un'idea di quella doppia piattaforma, io non credo si possa scegliere località migliore dei dintorni di Orvieto. Io ho già descritto lo spettacolo di erosione offorto da quei dintorni. Ho già detto come il fiume Paglia ha rôso all'ingiro e bizzarramente frastagliato quella che si direbbe l'estrema falda della convessità, per non dire del cono vulcanico, di Bolsena. Ho già detto come Civita di Bagnorea sorga sopra una piramide di argilla, coperta da una gran crosta vulcanica, e come in uguali condizioni si trovi Orvieto (*Parte seconda*, § 359). Una erosione della profondità di forse 200 metri mostra a nudo questo spettacolo di un mare prosciugato, ove la catasta dei fondi marini, sovrapposti nel corso di tanti secoli, venne coperta da uno strato enorme di detriti piovuti dai vulcani, che hanno vista d'aver continuato pur essi ad infuriare per secoli e secoli.

520. Si è quistionato assai sull'origine del tufo della campagna romana, che direbbesi meglio tufo basilare del distretto vulcanico dell'Italia centrale. In genere lo si indica come d'origine sottomarina; non negandosi da nessuno poi l'origine subatmosferica delle lave e dei detriti componenti i gruppi vulcanici che si elevano sopra il piano tufaceo.

L'abate Rusconi (*Corrispondenza scientif. di Roma*, 1865) prese recentemente a combattere l'idea dominante con una preziosa memoria che porta per titolo l'*origine atmosferica dei tufi della campagna romana.* Dopo avere accennato che il Breislak e il Brocchi furono i primi ad indicare come sottomarini i tufi romani, ci partecipa diverse importanti osservazioni, che lo condussero a ritenerne l'origine atmosferica. Gli argomenti in prova della sua tesi si riducono ai seguenti:

1.° I tufi della campagna romana non possono essere sottomarini, perchè non contengono nessun fossile marino.

2.° Negli stessi tufi non si nota nessuna interstratificazione o di marne o di sabbie che dia indizio di marina sedimentazione.

3° Si trovano invece parecchi intercalamenti di calcare incrostante, cioè di travertino.

4.° I frammenti interclusi nel tufo sono rocce vulcaniche, e specialmente scorie, aventi i caratteri dei prodotti vulcanici subaerei.

5.° Le istesse materie, che formano il tufo della campagna romana, si trovano disseminate sui monti limitrofi, nominatamente sul monte Albano, ove le materie stesse del tufo entrano nella composizione del *travertino rosso*, riconosciuto d'epoca quaternaria.

521. La roccia or ora nominata, detta assai impropriamente travertino, non è altro, come ben argomenta il Rusconi, che il prodotto della decomposizione del tufo vulcanico, il quale ricopriva il monte Albano. Esso si trova raccolto in ammassi simili a filoni e nidi: occupa cioè le depressioni delle montagne romane, dove fu raccolto dalle piogge, che lavarono le stesse montagne dal tufo che le copriva. Alcuni

lembi di quel tufo si trovano sparsi qua e là su quei monti, coprendo immediatamente gli strati del lias e dell'oolite. Tutte le accidentalità osservate convengono nel presentarci in quel tufo una vera nevicata vulcanica, la quale, come avviene all'ingiro dei vulcani attuali, veniva riempiendo, come fa la neve, ogni concavità, ed uguagliando ogni irregolarità. Or bene, dice il Rusconi, quelle montagne, coperte di detrito vulcanico, erano già emerse, quando i vulcani cominciarono ad erompere. Esse anzi formavano, assai tempo prima, le coste del golfo pliocenico, dove si accumularono le argille e le sabbie subappennine. Che poteva dunque ricoprire di tufo vulcanico quelle eminenze, se non un vulcano subatmosferico?

522. Nessuno potrà negare la verità della conclusione derivata dal Rusconi, con tutto il rigore della logica dei fatti. Ma parmi che il dotto autore versi in un equivoco, sicchè le sue argomentazioni non valgano nulla, o ben poco, contro la tesi che egli combatte. Io non credo che nessuno abbia mai dubitato i tufi della campagna romana essere composti di prodotti di vulcani subaerei. Osservando di nuovo i dintorni di Orvieto, possiamo accertarci di questo fatto importantissimo. Dal letto del Paglia si leva, a ripido pendío, la massa degli strati d'argilla, sensibilmente orizzontali. La parte superiore di quelle argille diviene sabbiosa, anzi ciottolosa, fino a cambiarsi in un conglomerato incoerente. Il limite fra le rocce marine plioceniche e le rocce vulcaniche è segnato, precisamente sotto Orvieto, da una miscela di sabbie marnose e ciottolose, ove si scorgono già frammenti di rocce vulcaniche. Segue immediatamente un conglomerato soffice, affatto incoerente, di ceneri, di scorie leggere ed assolutamente pumicee, con frammenti di lave compatte. Questa specie di conglomerato ha molti metri di spessore, e si direbbe il risultato di una eruzione di detriti avvenuta jeri. Superiormente a quel detrito incoerente abbiamo poi il tufo vulcanico, giallo, molle, coerente, il vero tufo della campagna romana e dei dintorni di Bolsena, il quale si assomiglia tanto al tufo in cui è scavata la grotta di Posilippo nelle vicinanze di Napoli.

523. Se è cosa indubitabile, che quei tufi constano di prodotti di vulcani subaerei, non ne viene però la conseguenza che i tufi stessi non possano essere sottomarini. Gli argomenti posti in campo dall'abate Rusconi valgono a provare con certezza le condizioni di eruzioni subaeree; ma non possono con pari certezza adoperarsi ad escludere l'idea di un deposito vulcanico subacqueo. Quando eruppero le isole Giulia e Sabrina, funzionarono, non v'ha dubbio, come vulcani subaerei. Quando le eruzioni fossero avvenute in maggiore prossimità del lido, ovvero fossero state più vigorose, avrebbero potuto piovere le ceneri, le sabbie, i lapilli l'una sulle coste di Sciacca, l'altra sulle isole Azorre: i monti sorgenti dal mare sarebbero stati così coperti di un tufo vulcanico. Al tempo stesso però il fondo del mare riceveva il prodotto dell'eruzione subaerea, che si distendeva sul suo fondo fino a distanze ignote, o si accumulava talmente intorno al centro eruttivo, che ne nacquero due isole, l'una delle quali, la Giulia, vantava 3 miglia di circonferenza.

524. Possono dunque essersi formati contemporaneamente degli accumulamenti tufacei sulla terra asciutta, e dei sedimenti d'immediata dejezione vulcanica in mare. Se il secondo caso siasi veramente verificato nei vulcani di Roma, io non saprei decidere. Certamente non si può ammettere che il mare, ove, nel supposto, si deposero i primi tufi romani, fosse appena profondo. Contro ciò stanno appunto le osservazioni del signor Rusconi, circa l'assenza dei fossili marini e di qualunque indizio di sedimentazione marina in quei tufi. Voglio dire che, se il mare era profondo abbastanza perchè non venisse colmato da una sola eruzione, il mare stesso non avrebbe mancato

di far tosto l'uffizio suo, convertendo in sedimento marino il detrito vulcanico; e le conchiglie marine non avrebbero mancato di pigliar possesso di quel detrito, come fecero sì bene le conchiglie terziarie del Vicentino. Non sono però lontano dal pensare che una parte di quel golfo subappennino non fosse intersmente prosciugato; che si trovasse nelle condizioni di una maremma, di una regione di lagune e di bassi fondi; che sia questo il fondo, cui trovarono originariamente i vulcani romani; su cui distesero il loro detrito, il quale dovette uguagliarsi in forma di piano, e presentare più tardi il carattere di una piattaforma, servente di base ai vulcani, e ricoprente gli strati pliocenici.

525. Il tufo basilare è dunque il più antico prodotto dei vulcani dell'Italia centrale, le cui eruzioni continuarono poi, edificando montagne in forma di grandi coni vulcanici composti, generalmente molto larghi e depressi. A quale epoca rimontano le prime eruzioni?

La giacitura del tufo ci ha già detto che que' vulcani cominciarono ad erompere od al chiudersi del periodo pliocenico, o fors'anche più tardi. Osservati sul Monte Mario a Roma i tufi vulcanici riposano sulle marne, così note ai paleontologi, ove si raccolsero circa due centinaja di specie di conchiglie marine, le quali, secondo Lyell identificano indubbiamente le marne di Monte Mario, col *crag corallino di Suffolk*, ritenuto equivalente del vero pliocene. Del resto noi troviamo ovunque sotto i tufi quella pila enorme di argille bleu marine, costituenti appunto il gran deposito subappennino o pliocenico. Anzi i vulcani eruppero, quando era già in formazione il deposito delle sabbie subappennine, le quali costituiscono un membro abbastanza distinto, superiore alle argille subappennine, e che io credo d'aver dimostrato sincronico al periodo glaciale.

526. Il poco che ci è noto sulla giacitura dei mammiferi fossili, i cui resti si trovano abbondantissimi negli strati romani, che stanno nei rapporti più immediati coi depositi vulcanici, vale piuttosto a confermarmi che a distogliermi dalle mie idee già espresse in proposito (*Parte seconda*, § 562). Il Rusconi assicura che nessuno dei mammiferi fossili, di cui è così ricca la Campagna romana, fu trovato negli strati subappennini; appartenendo invece a depositi atmosferici, come egli dice, e che noi diremo alluvionali, od alluvio-vulcanici, posteriori tutti alla gran massa subappennina.

Il signor Rath conferma abbastanza bene questo fatto, assegnando i primi mammiferi fossili agli *strati superiori del pliocene*, i quali sarebbero appunto per me gli equivalenti del terreno glaciale; e lo sono talmente, che noi vi troviamo già due dei principali rappresentanti della fauna quaternaria, l'*Elephas meridionalis* ed il *Bos primigenius*. Il primo dei due, come compare nella campagna romana, così lo troviamo negli strati sabbiosi superficiali dei colli piacentini (*Parte seconda* § 562) e nei depositi di Leffe, sicuramente d'epoca glaciale (*ib.*, § 546). Il secondo, cioè il *Bos primigenius*, è il fossile di Adrara, sicuramente d'epoca glaciale (*ib.* § 547): è l'abitatore delle alpine foreste, che fu visto ai tempi di Cesare combattere negli anfiteatri romani (*ib.*, § 488). I primi detriti vulcanici coprono gli strati contenenti le reliquie suddette: ne dedurremo adunque che le prime eruzioni romane rimontano ai primordi dell'epoca quaternaria. Dico ai primordi; poichè, sempre attenendoci a Rath (*Fragmente aus Italien*, 1866), le alluvioni posteriori a quegli strati contengono l'*Elephas antiquus, meridionalis*, l'*Hippopotamus major*, specie anch'esse dell'epoca glaciale, e l'*Elephas primigenius*, il celeberrimo *Mammouth*, l'abitatore delle terre artiche, il quale giunse nelle nostre regioni temperate, esule dagli artici ghiacci,

quando il freddo dell'epoca glaciale gli preparava più omogenei recessi nelle regioni più meridionali d'Europa (*Parte seconda*, §§ 595 al 603). Quelle alluvioni sembrano anzi più recenti di quanto si dedurrebbe dalla presenza dei citati fossili, cui il Ponzi trova tanto antichi, da attribuirli ad un rimestamento degli strati pliocenici. La fauna di quelle alluvioni ha complessivamente una fisionomia più giovine, contando specie viventi, od appena spente, quale il *Bos primigenius*, il *Cervus elaphus*, l'*Equus fossilis*, il *Castor fiber*, il *Canis hyæna*.

527. Io sto adunque per convenire coll'abate Rusconi in ciò che tra il pliocene e l'erompere dei vulcani ci corse un corto intervallo di tempo: il che sarebbe pienamente dimostrato se esistono, come vuole il Rusconi, letti fluviali entro il pliocenico, posteriori quindi al sollevamento ed all'erosione di quel terreno, ed in cui tuttavia non si scorgono ancora materiali vulcanici.

528. Cosa non dubbia poi è questa, che le eruzioni romane continuarono fin nel periodo antropozoico, e che, non solo l'uomo della pietra, ma forse il cittadino romano assistette a quelle terribili conflagrazioni. Il mio amico, marchese Carlo Gualterio, che primo occupossi delle reliquie preistoriche entro i limiti del gran gruppo vulcanico di Bolsena, trova abbondanti alla superficie del suolo le frecce di selce, e gli altri avanzi dell'industria umana, riferibili con certezza alla *seconda epoca della pietra*. Non trovò invece, per ripetute indagini che facesse, nessun indizio dell'uomo della *prima età della pietra*, che pure si annuncia con certezza abitatore dei paesi limitrofi. Ne conclude assai razionalmente, che l'uomo della *prima pietra* non potè inoltrarsi nel distretto di Bolsena, assistendo invece dalle alture del vicino Appennino allo spettacolo di quelle poderose eruzione (*Atti della Società italiana di scienze naturali*, vol. XI). Il cratere di monte Rado, sopra Bagnorea, sul fianco del gran cratere di Bolsena, ha l'aria di essere così recente, che si direbbe impossibile che l'uomo non l'abbia visto in eruzione. I vulcani laziali sono indubbiamente ancora più recenti di quelli di Bolsena. Le loro lave scorsero sull'attuale superficie della campagna di Roma, ed ancora spicca sul piano uniforme il rilievo delle correnti, che corsero fino alle mura della eterna città. Alcuni passi della storia romana, se non alludono a vere eruzioni vulcaniche, attestano tuttavia un'attività resa ancora manifesta da imponenti fenomeni, d'ordine vulcanico, simili a quello a cui si deve la formazione del Lagopuzzo nell'epoca nostra, sul quale crediamo opportuno un breve cenno, cavandolo dalla descrizione offertaci da Rath (*Fragmente aus Italien*, 1867.)

529. Il Lagopuzzo è uno stagno, da cui si svolgono esalazioni solfuree, a 15 miglia a nord da Roma, verso il pendio meridionale del monte Soratte. Il 28 ottobre 1856, si vide in quel luogo una superficie, della estensione di un'aja, staccarsi, screpolando, dalla circostante pianura, e lentamente deprimersi. Gli abitatori si allontanarono, spaventati dai sotterranei fragori, e dalle intermittenti detonazioni. Videro quindi da lungi colonne d'acqua e di fango, lanciate in aria su quello spazio depresso; e un diluvio di polve coprì i dintorni, che rimasero involti nelle tenebre. L'eruzione durò qualche ora. La mattina trovossi un gorgo pieno d'acqua, cinto di verticali pareti. La superficie di quello stagno era coperta di bianca schiuma, e ne uscivano puzzolenti emanazioni solforose, ed in più luoghi scoppiavano bolle gazose, sollevando l'acqua, la quale sembrava bollire, con forte detonazione. Così passarono due giorni, finchè ristabilissi gradatamente la tranquillità, rimanendo testimonio dell'avvenimento il Lagopuzzo, stagno circolare del diametro di 100 metri e della profondità di 30.

530. Do ora alcune brevi notizie su ciascuno dei grandi gruppi vulcanici del territorio di Roma, rinunciando a molti particolari da me stesso raccolti, per servire alle angustie del presente trattato. Cominciando dal lago di Bolsena, immaginatevi una gran lente piano-convessa, posta sulla piattaforma di tufo, e scavata nel mezzo da una vasta depressione subcircolare, conversa ora in lago ridente, cinto di ubertose colline. Il lago ha una periferia di 22 miglia di 60 al grado, e le colline che lo circondano, levandosi all'ingiro con lento pendio, si alzano talora fino a 358 metri sul livello del lago, e presentano l'aspetto di un vasto circo craterico, eroso dalla diuturna azione delle acque, sopra materiali per la maggior parte molli ed incoerenti. Quel circo avrebbe un giro di 32 miglia. I suoi rapporti coi terreni subappennini ci sono già noti. I materiali di quel grande edificio vulcanico constano, per la massima parte di tufi, cioè di letti sovrapposti, irregolarissimi, di ceneri, di lapilli, di scorie e di pomici, ove i torrentelli, tanto esterni che interni, trovaronsi potenti a scavarsi dei letti così larghi e profondi, che quella regione presenta ovunque uno spettacolo sorprendente di profonde erosioni, di cui abbiamo già cercato altrove di porgere un'idea. Le lave vi figurano quasi come un'eccezione: eppure ci scopriamo correnti poderosissime di leucitofiri, che presentano nelle vicinanze di Bolsena i più maravigliosi colonnati basaltici, o, decomponendosi a sferoidi, si mostrano qua e là disseminati a guisa di giganteschi cumuli di massi erratici. Vi si mostrano anche delle lave trachitiche, le quali, secondo Rath, avrebbero precedute le eruzioni dei leucitofiri. Molti travertini si scoprono in concorso coi tufi, e tutto afferma, che quell'enorme rilievo vulcanico è frutto di lunga stagione, in cui l'attività vulcanica esercitossi con tutto il vigore delle sue primarie e secondarie manifestazioni.

531. Il vulcano di Bolsena presenta, come l'Etna, un gran cono, i cui fianchi sono irti di coni minori. Ad onta del lavoro di demolizione esercitato dalle acque, parecchi crateri si scorgono ancora; ed io credo averne rimarcato un buon numero, principalmente nella parte più rilevata del circo, cioè da Marta salendo a Montefiascone, e di là proseguendo fino a Bagnorea, dove scorsi il già accennato cratere di Monte Rado, da cui forse sgorgò l'ultima poderosa corrente di nera lava anfigenica, e da cui piovvero le ultime bombe, che si trovano ancora disseminate sulla superficie del suolo, come fossero cadute or fan pochi mesi. Il vulcano di Bolsena differisce però essenzialmente dall'Etna in questo senso, che rappresenta un cono assai depresso, quasi troncato alla base, con un cratere il più vasto che si conosca. Per questi caratteri il vulcano di Bolsena si avvicina di molto a certi vulcani delle Sandwick, ove il celebre Mauna Loa, benchè raggiunga i 4260 metri sul livello del mare, offre un pendio che non supera gli otto gradi. Il cratere di Bolsena è così vasto, che il signor Rath preferisce riconoscervi il prodotto di un abbassamento, piuttosto che di un'eruzione. Oltre la vastità egli trova altri argomenti favorevoli a questa sua idea; e sarebbero la forma interna del circo piuttosto a pendio che a pareti verticali; la varietà dei prodotti vulcanici, mentre dovrebbero essere uniformi nel supposto di un cratere scavato da una eruzione; le correnti di lava, il cui corso, com'egli dice, è rivolto verso il centro della depressione. Queste ragioni io non le trovo sufficienti. Quali limiti possiamo noi assegnare alla vastità dei crateri vulcanici? Un cratere all'estremità nord ovest di San Miguel (Azore) vanta 24 chilometri di circonferenza, circondato da pareti che si levano fino a 600 metri al dissopra del pavimento craterico. Il Dasar, deserto di sabbia, non è altro che il fondo del gran cratere del Tenggher, vulcano di Giava, ed ha una circonferenza di circa 22 chilometri. Non è dunque cosa che soverchi i limiti del possibile un cratere di 22 miglia, cioè di circa 40

chilometri di circonferenza, riflettendo anche come una buona parte di tale ampiezza debba considerarsi come prodotta dall'erosione, la quale esercitò nell'interno tanta rovina. Per questa stessa ragione non possiamo nemmeno pretendere, che l'interno del cratere si presenti sotto forma di circo a pareti verticali. Quanto alla varietà dei prodotti vulcanici, che si mostrano a nudo nell'interno, la è frutto naturalissimo di quello sventramento per cui venivano tratti in luce i prodotti di mille eruzioni antecedenti. Quanto alle correnti, che scorrono verso l'interno, io non ne vidi nessuna, che con certezza si potesse ritenere deversata dall'esterno all'interno: ma, quando ciò fosse, ricorderemo come esistano crateri laterali, i quali potevano versare le loro lave nel cratere principale. Non lascerò di nominare l'isola Bizantina, gruppo di rocce vulcaniche, e probabilmente un cono vulcanico demolito, e l'isola Martana, vera isola cratere, che si assomiglia all'isola Giulia, alla Sabrina, ecc., per la sua forma a ferro di cavallo. Le due isole si tengono sul lato sud ovest del lago di Bolsena, prodotte sicuramente da eruzioni interne al cratere, e paragonabili al Bromo ed agli altri tre coni vulcanici, sorgenti in mezzo al Dasar del Tenggher, pei quali manifestossi, posteriormente al gran sventramento, l'attività del vulcano, la quale si mantiene ancora attualmente nella bocca ignivoma del Bromo.

532. A fianco del gran cratere di Bolsena, e precisamente ad est, si apre un'altro grande cratere, talmente accosto al precedente, che i due si possono considerare come crateri gemelli. Il cratere di Latera è subelittico, e vanta una circonferenza di circa 12 miglia. Il suo fondo è costituito da un piano paludoso, da cui sorgono alcune colline di lava, prodotti di eruzioni nell'interno del cratere. Il cratere di Latera si può considerare ancora come allo stato di solfatara. Lo zolfo e l'allume sono ammassati in gran copia entro la massa scomposta delle lave interne: dal fondo acquitrinoso ribolle in gran copia il gaz acido carbonico, e l'acido solforico che vi si forma, dà a quell'acqua un sapore di aceto, talora assai forte. Sul fianco occidentale del gran circo si scopre il lago di Mezzano, il quale può considerarsi come il tipo dei crateri vulcanici. Trattasi di un cono, profondamente troncato, e talmente abbassato verso est, che il labbro craterico va, a fondersi col piano del grande cratere di Latera. Ma il cratere si sprofondò, e nel suo seno adunaronsi le acque. La circonferenza del lago di Mezzano è poco più di un miglio. È indubitato che il cratere di Mezzano è il prodotto dell'ultima eruzione del gran vulcano di Latera. Benchè coperto di foreste, quel cono craterico è intatto, e sui fianchi stessi del cono, e sul piano sottoposto, sono disseminati le scorie e le bombe quasi fossero cadute jeri.

533. Lascio mille altre particolarità, e continuo la rassegna de' vulcani romani, seguendo la gran linea da nord ovest a sud est., e mi trovo al gruppo vulcanico di Viterbo. Viterbo giace ai piedi di una catena di eminenze, la quale si disegna con bellissimo profilo sull'orizzonte, sorgendo da vasta pianura. Quella catena però va distinta in due gruppi, uno affatto diverso dall'altro e topograficamente e geologicamente. La prima parte, a nord-est di Viterbo, è costituita dal gruppo dei Colli Cimini, i quali non formano parte di quel sistema di vulcani subaerei che eruppero nell'epoca pliocenica. I Cimini constano di trachiti: non hanno la forma di cono craterico, ma quella invece di irregolari eminenze. Le trachiti sono certo più antiche dei leucitofiri, che loro sorgono appresso, e sono, secondo Rath, sincroniche alle trachiti della Tolfa e degli Euganei, di cui parlammo, non che a quelle, da noi non menzionate, del monte Amiata e del monte Virginio.

534. La seconda parte della catena è costituita dal gran cono craterico di Vico, il quale si leva a sud-est di Viterbo. Il vulcano di Vico è un vero tipo de' vulcani su-

Digitized by Google

bacrei a recinto. Un cono depresso, profondamente troncato; alla troncatura corrisponde un magnifico cratere, di circa 13 miglia di circonferenza, a pareti interne quasi perfettamente verticali. Il fondo di quello sterminato cratere si era converso in lago; ma, mediante un lavoro di prosciugamento, le acque si ridussero ad occuparne soltanto la metà meridionale, rimanendo l'altra metà in forma di landa piana, semi-incolta. Dal mezzo di quella landa, quindi sul lato settentrionale del cratere, si leva il monte Venere. È un cono un po' forcuto alla sommità, che ha del resto l'aspetto di vero cono vulcanico intercluso. Non ha un cratere ben distinto; ma la depressione, per cui la sommità appare forcuta, accenna abbastanza bene ad un cratere, quasi colmato dalla erosione del circo. Infatti una enorme corrente di lava, a guisa, come già dissi, di grumo gigantesco, nasce da quella depressione, e si volge, con ripido pendío, al basso, e giunge fino alla base del cono. Quella corrente è certo prodotto dell'ultima eruzione del vulcano di Vico. Ella è là ancora nuda, non coperta nè di detrito vulcanico, nè di vegetazione; sicchè la sterilità della montagna da quella parte contrasta col resto del cono, il quale, essendo formato di tufo, è tutto rivestito di foresta lussureggiante. Anche il cono principale, cioè il cono recinto, è formato di tufi e tutto coperto da robusta vegetazione. A volte a volte però traspajono lo poderose correnti di lava, cioè di un leucitofiro, che d'ordinario si direbbe un puro impasto di bellissimi cristalli d'anfigene, della grossezza di una nocciuola. Il celebre Bollicame, bollente al piede del vulcano di Vico presso Viterbo, è testimonio di quell'interna attività, le cui maggiori manifestazioni sono certamente cessate da corta stagione.

535. Continuando la via verso sud est eccoci ad un altro gran gruppo vulcanico, quello del lago di Bracciano. Ci troviamo, come a Bolsena, un gran lago craterico, della circonferenza di circa 14 miglia, offrente presso a poco le medesime condizioni. Sul perimetro nord-est, e diremo alla base del gran cono, troviamo una serie di coni e di crateri-laghi parassiti. Il cratere-lago di Martignano ha 4 miglia di circonferenza, e gli si trovò l'enorme profondità di 270 metri. Eccovi un cratere che trova un riscontro nel Chiranea, tra i vulcani attuali, e tra i vulcani spenti nei Maar dell'Eifel, e nei crateri-pozzi della Francia centrale. La valle di Baccano, che si stacca dal gran circo craterico a nord-est, ha anch'essa la forma di un gran cratere laterale, che misura 7 miglia di circonferenza. Il signor Rath ritiene che anche il lago Sabbatino o di Bracciano sia un cratere di depressione. Ma noi glielo acconsentiamo ancor meno di quando trattossi del lago di Bolsena; poichè il cratere di Bracciano, di circa 24 chilometri di circonferenza, trova nel cratere del Tenggher, di 22 chilometri di circonferenza, e nel cratere di San Miguel di 24 chilometri, un esatto riscontro. Anche il gruppo di Bracciano consta, come i descritti, di tufi e di leucitofiri.

536. Attraversata la sterminata landa, che si chiama Campagna di Roma, e continuando, attraverso l'eterna città la via verso est, alla distanza di circa 8 miglia dalle mura di Roma ci troviamo al piede dei Colli Laziali, i quali rappresentano un vulcano spento che per nulla differisce nella sua forma dai vulcani attivi i più perfetti, dal Vesuvio, dall'Isola Bourbon, dal Picco di Teneriffa. Eccone una breve descrizione, tolta dalle memorie del Ponzi, il quale si occupò assaissimo dello studio di quel vulcano. I Colli Laziali, composti di tufi e di leucitofiri, non sono che le parti eminenti di un gran cono vulcanico a recinto, intorno a cui si aggruppano parecchi crateri parassiti. Nella sua forma esterna quel vulcano è una copia del Vesuvio compreso nel monte Somma, eseguita in grandi proporzioni. I colli Tusculani e Veliterni costituiscono il recinto esterno, in forma di cono assai depresso, entro cui è sca-

vato un enorme cratere, che ha ora la forma di valle circolare, ritrattando in grande l'Atrio del Cavallo, ed è aperto dal lato ovest. Da quel cratere sorge, come il Vesuvio dal nominato Atrio del Cavallo, un alto cono, il cui labbro craterico intagliato forma il diadema de' colli Albani. La punta più elevata di quel circo interno, cioè il monte Cavo, il quale supera di 290 metri la più alta vetta del recinto, rappresenta ciò che pel Vesuvio è la Punta-del-palo. Il fondo del cratere centrale è il Campo di Annibale, e fu un giorno cratere-lago, essendo attualmente riempito di depositi d'indole lacustre. Dal fondo del Campo d' Annibale si eleva un terzo cono, assai umile, rappresentando il cono d' eruzione, od il cono avventizio, che si vide le tante fiate farsi, disfarsi e rifarsi nel cratere vesuviano. Ma qui tutto, come dissi, è edificato su più vasta scala. Il cono recinto misura 30 miglia alla base, ed il cratere d'eruzione centrale gira 6 miglia Quanto al gran cratere recinto, misurato sulle carte topografiche, può vantare una circonferenza di 18 miglia, quindi di circa 33 chilometri. Non può qui dubitarsi che il recinto non abbia l'istessa origine che quello del Vesuvio, del Picco di Teneriffa, del Bourbon, dei mille vulcani a recinto: che non sia un cratere risultante dallo sventramento della montagna in un grande parossismo di eruzione. Non intendiamo quindi, per dirlo ancora una volta, come il signor Rath trovasse difficoltà ad ammettere la pretta origine craterica dei laghi di Bolsena e di Bracciano, perchè questo vanta 24, e quello 40 chilometri di circonferenza. Diversi coni-crateri, e diversi crateri-laghi si accosciano a fianco del cono principale, specialmente dal lato di sud-ovest. Non altro che crateri infatti sono i laghi di Nemi, di Albano, di Giuturna, della Colonna, od altri simili depressioni.

537. Dissi che i Colli Laziali devono la loro origine ad eruzioni più recenti, relativamente a quelle per cui sorsero, almeno nella loro massima mole, i vulcani precedentemente descritti. Osserva infatti il signor Rath, che le acque scorrenti da quei colli hanno eroso i tufi dei colli di Roma, e che questi tufi contengono delle pomici affatto estranee ai Colli Laziali. Aggiungi la già accennata corrente, che si dirige affatto superficialmente verso Roma, di cui vidi espresso esattamente il rilievo sulla magnifica carta storica e geologica della Campagna di Roma che si sta preparando dal cav. Rosa, direttore degli scavi del Palazzo de' Cesari, in concorso col signor Ponzi. Nessuna eruzione storica è però con certezza rammentata. Le piogge di pietre, l' una al tempo del re Tullo, l'altra l'anno 540 di Roma, rammentate da Tito Livio, ricordano probabilmente, come pensa il signor Rath, eruzioni analoghe a quello di Lago puzzo che abbiamo descritto. Le *mofette*, le emanazioni idrosolforose e i terremoti indiziano l' attività ancora immanente delle forze sotterranee.

538. A nord est dei vulcani Laziali sulla via da Roma a Napoli, s'incontra sulla sinistra il vulcano di Ticchiena, un piccolo cratere, dice Ponzi, assai ben conservato, da cui sgorga una corrente di lava, che attraversa la via tra Ferentino e Frosinone. La Fontana olente, emanazione idro-solforosa, attesta l'attività vulcanica immanente in quella località. Tra Frosinone e Ceprano, sempre sulla stessa linea, sorge il Monte di Pofi, massa di lava basaltica, la quale accusa un vulcano, costituito da un gruppo di coni, ora sfigurato, affermato però dalle correnti di lava, che si irradiano all'ingiro. Così si giunge, pel vulcano di Rocca Monfina, ai Campi Flegrei, al Vulture, al Vesuvio, dove è attualmente concentrata quella attività vulcanica, la quale, dai primordi dell'epoca quaternaria fin presso ai tempi storici, dava all'Italia centrale e meridionale quell'aspetto che presentano le isole di Giava, di Sumatra, e meglio ancora, come penisola continentale, il Kamschiatka.

539. L'angolo meridionale della Sicilia, che forma la provincia di Val-di-Noto,

Digitized by Google

consta, in parte, di strati pliocenici, interstratificati di tufi e di basalti. I vulcani di Val-di-Noto debbono quindi ritenersi, in genere, vulcani sottomarini, o insulari, che precedettero il sollevamento di gran parte della Sicilia, sollevamento che rimonta all'epoca glaciale, e in parte all'epoca postglaciale ed al periodo antropozoico. L'Etna pur esso ha per base gli strati pliocenici, dell'età del Crag di Norwich, secondo Lyell, misti di prodotti vulcanici, e sollevati fino a 400 metri sul livello del mare. Siccome l'Etna consta in genere di prodotti di eruzioni subaeree, si può ritenere che questo gigante si levasse da sè fino all'altezza di 3, 300 piedi nel corso dei secoli che volsero dal deporsi dei più recenti strati pliocenici fino ai nostri giorni. È una creazione di tre grandi periodi geologici, il pliocene, il glaciale e l'antropozoico. Osserva poi lo Scrope (*Les volcans*, pag. 347) come la triangolare Sicilia trovi una catena vulcanica corrispondente a ciascuno de' suoi tre lati: la linea d'Ustica e di Lipari, parallela al lato nord; la linea dell'Etna e di Val-di-Noto, parallela al lato d'oriente, e quella delle isole Pantellaria, Giulia, Limosa e Lampedusa al lato di mezzodì.

540. I distretti vulcanici d'Europa, appartenenti alle epoche cenozoica e neozoica, passati in rassegna finora, si possono considerare come costituenti un grande complesso, una gran zona, che io chiamerei, o piuttosto ho già chiamata, *zona mediterranea*. Nella *Parte prima* infatti (§§ 901 al 903), restringendomi ai vulcani attivi od affatto recenti, ho indicato come formante una *catena mediterranea* quella gran serie di vulcani, che segue la zona delle depressioni intercontinentali del Mediterraneo e del Mar Caspio, prolungandosi forse fino alle regioni del Baikal, e comprendendo i vulcani della Spagna, dell'Italia meridionale, della Grecia, degli Urali, della Persia, del Caspio, ecc. Allargando ora i limiti cronologici di questa *zona mediterranea*, in modo da comprendervi i vulcani terziari, come i colli Euganei, il distretto del Vicentino, i distretti del Reno, della Germania centrale, della Boemia, dell'Ungheria, non ne avremmo però allargato di molto i limiti topografici. Avremmo ancora una *zona mediterranea*, che corrisponde, nel suo complesso, alla massima depressione intercontinentale, e nei particolari, alle particolari depressioni, mostrandosi tutti que' distretti alla base dei massimi rilievi mediterranei.

541. Per me, come già mi espressi altre volte più limitatamente, quel complesso di vulcani, succedentisi sulla stessa zona, che cominciano verso l'eocene medio, crescono nel miocene, e sembrano crescere più ancora di numero e d'intensità, mano mano che ci avviciniamo al periodo antropozoico, col quale pare cominci un periodo d'attività decrescente del vulcanismo in Europa; quel complesso di vulcani, dico, risponde a quel progressivo sollevamento, che diede origine agli attuali continenti; che comincia a manifestarsi con sensibile attività verso il mezzo del periodo eocenico, e continua vigoroso fin oltre al periodo miocenico; poi descresce col pliocene, e col postpliocene, consumandosi quasi interamente col periodo dei terrazzi, col quale, per dir così, fu data l'ultima mano al rilievo degli attuali continenti (*Parte seconda*, §§ 1020-1025 e 1043-1047). Il Mediterraneo, continuato colle grandi depressioni del Caspio e dell'Aral, rappresenterebbe appunto quel complesso di grandi fratture, di grandi dislocamenti, al piede de' rilievi continentali, a cui appunto, secondo la teorica da noi esposta, dovevano corrispondere i vulcani. E come fu progressivo quel processo di oscillazione, di dislocazione, che terminò coll'imponente rilievo delle terre circum-mediterranee, così progressivo doveva essere il vulcanismo, successiva l'apparizione dei vulcani, prima in genere sottomarini od insulari, poi subaerei e terrestri. Siccome poi il periodo attuale può ritenersi un periodo di sosta per le regioni circum-mediter-

ranee; così dev' essere un periodo relativamente di riposo pel vulcanismo: benchè i vulcani tuttavia ardenti non lascino di tradire un' attività non spenta, che ancora entro i confini d' Europa è attestata dalle oscillazioni non indifferenti della Scandinavia, della Danimarca, dell' Italia.

542. I vulcani della *zona mediterranea* non rappresenterebbero che un episodio della gran fase del vulcanismo, incominciata verso il mezzo dell' eocene, epoca in cui, si può dire, cominciò veramente la creazione dei continenti boreali (*Parte seconda*, §§ 1042 al 1048). Io ritengo indubbiamente che le grandi catene vulcaniche, formanti il gran sistema perimetrico di tutti i continenti attuali, quando fossero studiate, apparirebbero costituite, non solo dai vulcani attuali o recenti, ma in genere anche dai vulcani terziarî; che quindi il gran sistema perimetrico da noi delineato (*Parte prima*, §§ 902 al 908) rimonta colle sue origini all' eocene, e più precisamente alla fine dell' eocene medio.

543. Qualche argomento in favore della tesi espressa possiamo dedurlo dalla grande catena dei vulcani dell' Atlantico (*Parte prima*, § 898) che, dall' isola Jan-Mayen si continua fino all' isola Tristan d' Acunha, ed anche più oltre, comprendendo l' Islanda, le Azore, il gruppo di Madera, le Canarie, le isole del Capo-Verde, e le isole Los, Fernando Pò, Ascensione, S. Elena, ecc. Quella grande catena di vulcani, che disegna, a tratti liberi e grandiosi, il doppio perimetro dell'antico e del nuovo continente, tenendosi approssimativamente sulla media della grande depressione dell'Atlantico; quella grande catena, dico, risponderebbe anch' essa a quel recente progressivo sollevamento, a cui abbiamo attribuito il rilievo degli attuali continenti. Sarebbe dunque anch'essa una catena che riunisce sopra una stessa zona di frattura e di depressione, i vulcani terziarî ai vulcani che ardono attualmente.

544. Non possiamo vantare molti documenti in proposito; ma i pochi concordano in questo, che in que' gruppi vulcanici la natura delle rocce corrisponde perfettamente a quella dei vulcani mediterranei, cominciando colle trachiti, corrispondenti in genere ai terreni terziarî più antichi, continuando coi basalti, coi quali ci approssimiamo all' epoca nostra, e terminando colle lave attuali: che vi hanno nella compagine di quei vulcani, dei sedimenti sottomarini: che parti di quelle isole, costituite da piattaforme basaltiche, accusano l'origine sottomarina: che pertanto l' origine di quei vulcani rimonta ad un' epoca anteriore agli ultimi sollevamenti, e che il loro sviluppo ha seguito, come quello dei vulcani mediterranei, il progresso di esso sollevamento. Scrope riporta come osservazione generale questa, che, nelle isole vulcaniche, una gran parte della superficie consiste in piattaforme orizzontali di basalte, risultato di correnti sovrapposte, le quali si distesero probabilmente sul fondo del mare, e furono poi sollevate, rotte dall' azione lenta delle forze sotterranee. Descrive precisamente l' Islanda, come quella che è così costituita nelle regioni del nord ovest e del sud est; mentre la regione centrale è quella ove erompono attualmente gl' imponenti vulcani (*Les volcans*, pag. 413). Fatti simili furono osservati altrove, per esempio, a S. Jago, ove vedemmo la formazione calcarea che riposa orizzontalmente sopra i basalti; nell' isola Vasco (gruppo di Madera), ove gli strati calcarei, attraversati da dicchi, e ricchi di couchiglie marine moderne, si elevano fino a 300 metri sul livello del mare; nell' isola di Lancerote (Canarie), ove il sollevamento è affermato dalla presenza del gesso, del sale e dei ciottoli che parvero a Darwin rotolati dal mare; nell'isola di Madera, la cui origine, dice Lyell, è sottomarina, e si riporta probabilmente al miocene. Le ghiaje marine ed i tufi ed i calcari contenenti conchiglie marine e coralli, furono in quest' ultima isola portate fino all' altezza di 360 metri (Lyell, *Manuel*, II.°, pag. 302.)

Digitized by Google

545. Le isole vulcaniche dell' Atlantico, come le pianure alluvionali de' nostri continenti, accennano, colla elevazione di strati con fossili di specie viventi, a quell'ultimo periodo di sollevamento che noi chiamammo *periodo dei terrazzi*. Così potessimo generalizzare ancor più delle apprezziazioni, che io credo abbastanza esatte! Ma la scienza è quasi assolutamente muta, per ciò che riguarda la cronologia vulcanica fuori de' confini dell' Europa, o piuttosto del Mediterraneo. Nulla sappiamo dell' Asia, ove le grandi piattaforme basaltiche dell' India possono ritenersi terziarie: nulla dell' America, ove la grande catena dei colossi trachitici, schierati in rango coi vulcani ardenti, rimonta, pare, originariamente all' epoca terziaria.

546. Quanto all' Africa, trovo che colli basaltici si levano a sud di Tripoli, e basaltici sono il Djedel Soudan e l' Harouteb della catena dell' Atlante. I basalti, associati a sedimenti d' epoca terziaria, ne fanno rimontare l' origine a quell'epoca, salvo il potervi supporre, sulla testimonianza di Solinus, delle eruzioni in tempi storici (Scrope, *Les volcans*, pag. 318).

547. Circa al Nord-America abbiamo le brevi osservazioni di Richthofen (*Zeichr. d. Geol. Gesellsch.*, 1868) dalle quali risulta appartenere all' epoca terziaria le andesiti, le trachiti e i basalti della costa occidentale, e che il vulcanismo nell' età terziaria fu di pari attività nell'antico come nel nuovo continente.

548. Al periodo miocenico vanno riferiti i basalti della provincia di Vittoria nell' Australia. Essi riposano sopra il granito e gli schisti paleozoici, alternando con grès, contenenti conchiglie mioceniche. Ma gli stessi basalti terziari schiusero la via a recenti eruzioni, che li coprirono di altre correnti basaltiche, ed edificarono qualche centinajo di coni di ceneri recenti. L' area occupata dalle lave recenti fu calcolata, da M. Brough Smyth, di 5600 chilometri quadrati (Scrope, *Les volcans*, pag. 485).

549. Della Nuova Zelanda abbiamo già detto assai (§ 296-298). Quelle isole furono la sede di un attivissimo vulcanismo dall'epoca terziaria fino ai giorni nostri. La catena di monti vulcanici, composti di trachiti, di andesiti, di fonoliti, di tufi, che fiancheggia ad est la gran catena principale, nell' isola meridionale, non vanta crateri, o veri apparati subaerei. La sua origine è anteriore al sollevamento principale dell' isola, e sembra attestare una serie insulare o sottomarina di vulcani terziari. Ma detta catena vulcanica si trova essa pure fiancheggiata ad est da un' altra catena, composta di doleriti e di basalti, e questa è posteriore al sollevamento principale, vantando crateri e veri apparati subaerei. È però interamente spenta, sicchè appartiene probabilmente o alla fine dei periodi terziari, o ai primordi dell' epoca attuale. I vulcani giganti dell' isole settentrionali vantano forse, come l' Etua, un' età che misura più periodi geologici; ma sono da computarsi, come l' Etna, tra i vulcani recenti.

550. Ecco del resto lo specchio cronologico delle formazioni vulcaniche recenti della N. Zelanda, secondo Hochstetter.

Eruzioni terziarie.

Isola meridionale.

1.° Trachite quarzosa in coni altissimi, e strati di tufo.

2.° Vulcani estinti, trachitici e andesitici della penisola di Banks.

3.° Trapp e basalti colonnari e sferoidali di Dunedin.

Isola settentrionale.

1.° Andesiti, anamesiti e basalti di Manukau.

2.° Basalti e conglomerati basaltici, senza crateri, sul Waikato.

3.° Altipiano vulcanico di trachiti, doleriti, andesiti, tufi, con molti crateri, tra il Waikato superiore e il Waikato medio.

Eruzioni quaternarie.

Isola meridionale.

Coni doleritici e basaltici al piede delle Alpi meridionali, nella provincia di Canterbury, e porzione dei vulcani di Banks.

Isola settentrionale.

1.° Vulcani della *Zona del Taupo*, di cui due attivi. Lave riolitiche e trachitiche; obsidiane; pomici.

2.° Distretto del Taranaki, con vulcano estinto, alto 8270 piedi, e forse più antico dei vulcani dal Taupo.

3.° Zona d'Auckland. Coni craterici, crateri di ceneri, con correnti di lave basaltiche.

4.° Zona della Baja d'Isola. Serie di coni, con lave basaltiche.

551. La Nuova Zelanda ripete infine nell'altro emisfero le meraviglie delle provincie renane e dell'Italia, e tutto ci persuade che esiste tra i fenomeni, verificatisi in regioni così distanti fra loro, la più perfetta coincidenza delle epoche. È cosa meravigliosa invero l'osservare tali coincidenze tra un gruppo d'isole, abbandonate nel grande oceano, e lembi di terre eminentemente continentali: l'osservare come si rispondano a vicenda, per identità di fenomeni, nelle stesse epoche, terre che trovansi esattamente agli antipodi fra loro. Nella Nuova Zelanda del pari che nelle Alpi i vulcani rispondono, come conseguenza, ad un grande sollevamento, quello a cui si deve attribuire, quasi per intero, il rilievo delle grandi catene, che si verificò tra i primordî dell'epoca terziaria e i principî dell'epoca quaternaria, anzi, per la massima parte (come è certo per le Alpi, e probabile per la Nuova Zelanda) tra l'eocene medio e il pliocene, continuandosi poi, in misura assai minore, fino ai giorni nostri. Il sollevamento della Nuova Zelanda, posteriormente a depositi d'epoca terziaria, si valuta, secondo Hochstetter da 2000 a 5000 piedi. Che poi il sollevamento abbia protratto le sue fasi d'attività fino ad epoca molto recente, lo prova lo sviluppo dei terrazzi alluvionali, per cui quella terra australe corrisponde così perfettamente alle boreali, ove, come vedemmo, (*Parte seconda*, Cap. XVIII) i terrazzi alluvionali danno nome ad un periodo ultimo di sollevamento, che il periodo glaciale lega al periodo antropozoico. I vulcani, allineati a' piedi di que' grandi rilievi, dapprima insulari o sottomarini, poi subaerei e terrestri, spostati a riprese, formanti zone parallele, succedentisi in ordine di tempo, del pari che in ordine di spazio, accompagnano costantemente, come l'effetto accompagna la causa, questo progressivo svolgimento, a cui si deve per la maggior parte, come ho stratigraficamente dimostrato, la creazione degli attuali continenti.

Digitized by Google

XV. Riflessi dedotti dallo studio della cronologia vulcanica.

I vulcani cominciano coll'azoico, 552. — *Il vulcanismo sempre ugualmente attivo*, 553. — *Limiti della sua variabilità*, 554. — *Sviluppo cronologico delle diverse rocce eruttive*, 555. — *Graniti*, 556. — *Sieniti*, 557. — *Porfidi*, 558. — *Melafiri*, 559. — *Rocce amfiboliche*, 560. — *Rocce pirosseniche*, 561. — *Basalti*, 562. — *Trachiti*, 563. — *Leucitofiri*, 564. — *Rocce serpentinose*, 565. — *Conclusioni*, 566. — *Uniformità del vulcanismo in tutte le epoche*, 567. — *Quanto poco basta a variare le combinazioni*, 568-570. — *Semplicità e quasi sostanziale unità dei prodotti vulcanici in tutti i tempi, provate principalmente dalle analisi chimiche*, 571-577. — *Testimonianza di Scrope*, 578. — *Conferme dedotte dalla distribuzione cronologica del quarzo*, 579-582. — *I vulcani seguono lo svolgimento del globo*, 583. — *Primi indizi di eruzioni subaeree*, 584. — *Distruzione degli antichi apparati subaerei*, 585. — *La comparsa dei primi apparati subaerei coincide coll'epoca del sollevamento degli attuali continenti*, 586, 587. — *Il parallelismo dei vulcani come conseguenza del progressivo sollevamento*, 588-590. — *Sintesi dei rapporti tra lo sviluppo dei vulcani e lo svolgimento superficiale del globo*, 591.

552. Dalla storia de'vulcani, quale l'abbiamo narrata nei due precedenti capitoli, non possiamo certamente cavare dei grandi risultati in ordine alla scienza. Tuttavia ne derivano alcune conclusioni, alle quali non si potrà negare una certa importanza. Anzi tutto noi vediamo come il vulcanismo, inteso nel senso più stretto, nel senso cioè di eruzioni laviche attraverso la crosta consolidata del globo, comincia già a manifestarsi con quelle infime formazioni, dalle quali esordisce la geologia strati-

grafica. Già i terreni detti azoici sono traforati da dicchi granitici, e gli strati, ritenuti d'origine sedimentare, vi alternano con enormi espandimenti granitici, che vestono specialmente la forma del gneiss. Che sia avvenuto innanzi a quest'epoca, l'ho detto e lo ripeto, io l'ignoro. La storia del vulcanismo, come quella della sedimentazione e dell'animalizzazione, si arresta finora all'ultimo strato, che serve di base alla serie stratigrafica.

553. Il vulcanismo, che comincia coll'epoca azoica, prosegue, sempre attivissimo, fino all'epoca nostra. Una catena non interrotta di eruzioni congiunge il primo granito all'ultimo lepitofiro vomitato dagli odierni vulcani. Io non credo, che nulla ci autorizzi a ritenere nè diminuita nè accresciuta l'attività vulcanica, durante la serie immensa dei tempi che la geologia ci permette di noverare. Stretti entro le nostre aree continentali, anzi entro piccole porzioni di esse, noi assistiamo talora a periodi di furore e di parossismi vulcanici: talora a periodi di tregua e di riposo: di pace non mai. Una lunga êra di furori vulcanici è, nominatamente per l'Europa, tutta l'epoca paleozoica, e più limitatamente quella del trias. La doppia epoca del Giura e della creta ci presenta invece un'êra di sfinimento e di riposo, la quale divide la prima epoca di grande attività vulcanica da una seconda, non meno violenta, che ha principio verso l'eocene medio e dura ancora ai giorni nostri. Sarebbe errore lo scambiare delle epoche di guerra o di pace, parziali alle nostre aree continentali, anzi a parti di esse, con epoche di guerra o di pace per l'orbe universo. Come rimutaronsi le tante volte le terre ed i mari, così dovettero rimutarsi di luogo le manifestazioni dell'attività vulcanica. Anche attualmente abbiamo delle aree immense, ove il vulcanismo non dà segno di vita; mentre altre molte ne abbiamo, ove esso infuria senza posa. Come sarebbe errore il credere che non esistessero continenti in quei periodi, in cui sulle aree nostre non vediamo che mari; così sarebbe errore il pensare, che non vi fossero vulcani e regioni vulcaniche, quando sulle stesse nostre aree non ne troviamo che indizî o scarsi o nulli. Basti un esempio in prova di quanto asseriamo. Non v'ha epoca di riposo più solenne e più universale di quella, in cui sulle aree delle nostre terre si stendevano i mari della *creta*. Eppure è in quest'epoca che l'America del sud è in preda ad un parossismo vulcanico così diuturno, che ben cento volte il fondo del mare è invaso da espandimenti di porfido (§ 475). Così nell'epoca del Giura, mentre la pace regnava quasi ovunque in Europa, le Ebridi interne presentavano uno spettacolo quale ce l'offrono ora le isole della Sonda.

554. L'attività vulcanica, ugualmente viva in tutti i tempi, ci appare però, a prima vista, estremamente mutabile. Tale mutabilità è affermata dalla grande varietà delle rocce eruttive, corrispondente ai diversi periodi geologici. Anche qui però bisogna guardarsi bene dall'esagerare il valore di tale mutabilità. Uno de' grandi principî, che risplende meravigliosamente dallo studio della natura, è in tutto e sempre la conciliazione dell'unità colla varietà. Unità di forze, unità di cause, invariabilità sostanziale di effetti: moltiplicità di forme e varietà di accidenti. Così si svolge, sempre mobile in sè stesso, il circolo dell'universo.

555. Per apprezziare questo vero, per vedere come, anche nell'ordine de'fenomeni interni, la natura è sempre uguale a sè stessa, sempre invariabile nelle sue leggi; riassumiamo le nozioni che abbiamo raccolte circa la produzione delle rocce eruttive nelle diverse epoche. Vedremo come esse rocce variano; come la presenza od il predominio di certe forme litologiche caratterizzino certe epoche: come in fine però tutte sostanzialmente convengano fra loro in guisa, che ne risulta la massima uniformità di quelle leggi, che governano il globo dalla sua creazione in poi.

556. Le rocce eruttive più antiche vestono le forme dei *graniti*, quella principalmente del granito schistoso, cioè del gneiss. Ciò è tanto vero che, fin dai primi tempi, i geologi ritennero un substrato granitico formare la base universale delle formazioni sedimentari, costituendo la crosta primitiva del globo. Abbiamo veduto come questa idea abbia dei fautori anche al presente. La cosa è però assolutamente falsa; mentre i primi graniti, come le ultime lave, ci si presentano in dicchi, in espandimenti interstratificati, in masse isolate, allineate, con tutti i caratteri delle rocce eruttive. I graniti compajono nel Laurenziano del Canadà, e dominano in tutta l'epoca paleozoica. Possiamo ricordare i graniti di Cristiania, o di Sassonia, ritenuti con probabilità devoniani: quelli di Cornovaglia e del Devonshire, che possono riferirsi al carbonifero; e quelli di Turingia che voglionsi soverchiare il permiano. Qualunque carta geologica del resto vi mostra le grandi masse granitiche in concorso colle primitive formazioni; e potremmo citare le Alpi, il cui asse era indicato come granitico, perchè le grandi masse di granito, allineate sui maggiori rilievi delle Alpi, si trovano in concorso colle zone delle più antiche formazioni, e principalmente coi terreni cristallini stratificati, che in tutto il globo stanno alle basi delle formazioni. Ho accennato ai graniti di California ritenuti posteriori all'epoca liasica da Richthofen; a quelli di Sardegna e di Sassonia, che si vorrebbero cretacei. Ho espresso però anche i miei dubbî circa tali apprezziazioni, e detto le ragioni di essi. Non credo assolutamente dimostrato che i graniti tocchino l'epoca del trias. Certamente poi i graniti rappresentano le più antiche eruzioni, e presentarono uno sviluppo veramente enorme nelle epoche azoica e paleozoica.

557. Le *sieniti*, benchè a buon diritto siano collocate da Daubrée tra le rocce amfiboliche, si possono considerare geologicamente come varietà di graniti, e ne seguono le evoluzioni. Le troviamo nell'huronismo d'America; tra il cambriano ed il siluriano inferiore in Inghilterra; e nel devoniano di Sassonia. Nelle Alpi si tengono presso a poco entro gli stessi confini dei graniti.

558. I *porfidi*, ricchi sovente di quarzo, si avvicinano talora siffattamente al granito, da rimanerne insieme confusi. Questa multiforme famiglia vanta anch'essa origini antiche; ma il suo massimo sviluppo l'ottenne dopo le rocce granitiche, e figura in genere come più recente. Noi troviamo dei porfidi antichissimi nelle Alpi, interstratificati alla zona cristallina, o in ciottoli entro le puddinghe d'epoca carbonifera, e forse più antiche. In Inghilterra appajono già cogli schisti primitivi (epoca azoica), come si mostrano negli strati cambriani della Galles, e alternano cogli *strati a Lingula* (Cambriano superiore) sul Cader Idris (§ 443). In Boemia i porfidi dividono il cambriano dal siluriano. Le eruzioni porfiriche continuano col devoniano nella Scozia, nella Russia, nella Westfalia, e prendono grande sviluppo col carbonifero in Germania, e probabilmente in Norvegia. Lo zenith dei porfidi è però il periodo permiano. A un intervallo tra il carbonifero e il permiano si riferiscono i porfidi della Scozia, e al permiano stesso quelle miriadi di masse porfiriche, quei veri diluvî di porfido della Boemia, dei Carpazî, de' Vosgi, delle Alpi, ove singolarmente si ammirano le ingenti masse dei porfidi del Tirolo e del Lago di Lugano. Le eruzioni porfiriche continuano poi, ben nutrite, nell'epoca del trias, sicchè ne troviamo nel trias medio e superiore del Banato e delle Prealpi lombarde, le quali rappresentano un vero distretto vulcanico dell'epoca del trias, ove si producevano principalmente porfidi amfibolici. Nelle Prealpi stesse, nominatamente a Gandino, i porfidi continuarono le loro eruzioni nell'infralias. I più recenti si troverebbero, ma assai dubbiamente, nel lias delle Alpi e della California.

Digitized by Google

559. I *melafiri* e le *euriti* pajono collaterali ai porfidi. Il loro regno è la Germania, dove, come i porfidi, presentano il massimo sviluppo durante i periodi carbonifero e permiano. In Scozia però le euriti hanno già grande sviluppo nel devoniano, e i melafiri voglionsi eruttati in Crimea tra il giura e la creta.

560. Le *rocce amfiboliche* (dioriti, amfiboliti, ofiti) rimontano anch'esse alla aurora dei tempi, e si associano, fide compagne, ai graniti, e con essi hanno il loro regno nei periodi paleozoici. Le dioriti compajono nel huroniano d'America, e sono indicate da Suess come del permiano in Tirolo (§ 457). L'abuso dei nomi generici di *greenstones*, etc., sotto cui vanno confuse le rocce amfiboliche colle pirosseniche, getta il dubbio sopra molti documenti, di cui potremmo altrimenti giovarci. La regione, ove le vere dioriti, le ofiti, associate a masse enormi di rocce amfiboliche schistose, hanno uno sviluppo maggiore, sono le Alpi, e specialmente le Alpi della Valtellina. Il selciato di Milano conta forse più che il 50 per 100 di ciottoli di dioriti d'ogni gradazione, dalla varietà criptocristallina alla porfiroide, fra cui spicca la bellissima *ofite* che ritrae assai bene il *prasopiro* o porfido verde antico. Quei ciottoli provengono tutti, in origine, dalle Alpi valtellinesi. Ora nelle Alpi le dioriti appartengono alla gran zona cristallina, rappresentante la serie paleozoica. Osservando come in quelle Alpi le dioriti si accompagnano ai graniti: osservando come, per esempio, l'enorme massa eruttiva che fiancheggia l'Adda dalle Prese a Bormio, sia composta di diorite, sienite e granito, rimanendo le tre rocce ben distinte mineralogicamente ma inseparabili geologicamente, si ha ragione di credere ad una intimità tra queste rocce, forse maggiore che non si è finora sospettata; di ritenerle cioè come tre modi di lave primitive, eruttate dagli stessi vulcani, conformemente a quel concetto di unità nella varietà, di cui ci mostreremo convinti più sotto.

561. Si parla di dioriti posteriori ai periodi paleozoici, e fin di dioriti posteretacee. Ma c'è sempre il dubbio fondatissimo che trattisi in questi casi di *rocce pirosseniche*.

Pare infatti che queste godano di una maggiore universalità in ordine allo spazio, come in ordine al tempo. Se per *Grünstein* o *Greenstones* debbono intendersi le rocce pirosseniche, noi le vediamo già comparire nel cambriano e nel siluriano inferiore della Galles del Nord. Dividono in Boemia il siluriano *medio* dal *superiore*: compajono nel devoniano della Vestfalia, del Nassau, del Voigtland, dell'Alta Franconia, e pigliano straordinario sviluppo nel terreno carbonifero della Scozia.

Ricompajono più tardi nella Scozia, alternandosi cogli strati marini dell'oolite delle Ebridi interne, associate ai *basalti*.

562. I *basalti* e le *doleriti* si direbbero destinati a continuare la rappresentanza delle rocce pirosseniche nelle epoche più recenti, come le *trachiti* a perpetuare, sott'altra forma, le rocce granitiche, colle quali vantano una quasi identità di composizione.

Troviamo le *doleriti* colla creta superiore negli Euganei, e coi terreni terziarî nell'Eifel e nelle diverse provincie del Reno: e *lave doleritiche* sono eruttate da vulcani pliocenici o postpliocenici, in Islanda, nelle Azore, e ancora si producono sotto ai nostri occhi, mentre è doleritica la lava eruttata dall'Etna nel 1865.

Quanto ai *basalti* li trovammo già indicati negli strati oolitici delle Ebridi interne; ma i loro dominî sono posti nei terreni terziarî e quaternarî, di cui sarebbero una eccellente caratteristica, se ad esserlo non vantassero ragioni pari le trachiti. I basalti del Vicentino erompono sullo spirare dell'epoca cretacea, e continuano le loro

Digitized by Google

eruzioni fino al periodo quaternario, attingendo il loro massimo sviluppo sul finire del miocene. Sono miocenici i basalti di Mull nella Scozia, del Westerwald, del Vogelsgebirge, del Maisner, e in genere delle Provincie renane. Quelli dell' Eifel però sono pliocenici, o, più probabilmente ancora, quaternari. Al pliocene appartengono anche, per la massima parte, i basalti della Boemia, e all' epoca quaternaria dovranno probabilmente riferirsi molte lave basaltiche della Nuova Zelanda, dei vulcani dell' Atlantico, ecc.

563. Si disputò assai sulla cronologia relativa dei *basalti* e delle *trachiti*, e si propende in genere a voler queste più antiche di quelli. Io non so se si possa porre in questione, non dirò l' anteriorità, ma nemmeno la prevalenza in un dato periodo di una di queste due rocce, la cui associazione è invece caratteristica dei periodi più recenti. Di trachiti e di basalti risultano infatti gli ammassi vulcanici, tanto subacquei quanto subaerei, delle epoche terziaria e quaternaria. Basaltici e trachitici ad un tempo sono, infatti, i vulcani dell'Alvernia, della Spagna, dell'Atlantico, della Nuova Zelanda, ecc. Mioceniche sono le trachiti del Siebengebirge, dell' Ungheria, del Siebenbürgen. Terziarie in genere si vogliono le trachiti dei monti della Tolfa o dei colli Cimini. Le trachiti dell'Eifel si riferiscono al pliocene, quando nol si debbano ad un periodo più recente, come le lave trachitiche di Bolsena, che sono postplioceniche benchè, secondo Rath, anteriori ai leucitofiri, dominanti nei vulcani, attivi e spenti, dell' Italia centrale e meridionale.

Del resto le trachiti, sotto le forme più speciali delle *rioliti*, delle *lipariti*, delle *andesiti*, segnalano i vulcani più recenti di tutto il globo. La *riolite* del Siebenbürgen si ritiene o pliocenica, o ancor più recente. Le *andesiti* sono lave dei vulcani del Nord America, del Kamtschatka, di Giava, e si può dire di tutte le attuali regioni vulcaniche, ove si mostrano o come *andesiti* orneblendiche, per esempio sull' Ararat; o como *andesiti augitiche*, per esempio, nelle Ande, in Islanda, a Teneriffa, sull' Etna, ecc.

564. I periodi più recenti sono anche distinti dall'apparizione e dall' enorme sviluppo dei *leucitofiri*, ove al pirossene angite si associa l' anfigene, sostituendosi al feldspato, col quale ha molta analogia. Il regno dei *leucitofiri* sono i vulcani quaternari d'Italia, risultandone talora quasi esclusivamente composti i coni di Bolsena, di Vico, di Rocca-Monfina ecc., del pari che il Vesuvio e l' Etna.

565. Le lave serpentinose o magnesiache costituiscono una gran famiglia a parte, il cui isolamento è già tanto più problematico, in quanto dura dai primordî fin quasi alla fine delle epoche geologiche. I serpentini ci compajono già nel *laurenziano* del Canadà, quindi nel devoniano dell'Alta Franconia, e si sviluppano assai in Europa, nominatamente in Inghilterra, durante il periodo carbonifero. Non dubito punto che molti gruppi serpentinosi delle Alpi, e specialmente il gruppo gigantesco che sorge nella regione dei graniti, nelle Alpi tra la Valtellina e la Val-Bregaglia, non appartengano alle antichissime epoche paleozoiche. Non conosco serpentini triasici, a meno che non si riferiscano al trias o all'infralias i serpentini de' Vosgi. I serpentini della Grecia sono ritenuti cretacei, e quelli dell'Appennino sono principalmente compresi nel terziario inferiore o medio; e le ofiti de' Pirenei, nelle quali vedemmo comprese, non le rocce serpentinose soltanto, ma la amfiboliche, le porfiriche, ecc., cominciano, al più presto, col trias, e finiscono coll' eocene medio.

566. Il segnente specchio riassume le scarse nozioni che ci fu dato di raccogliere circa lo sviluppo cronologico delle diverse famiglie di lave. Per abbreviare, parlando

ai sensi, ricorro all'artificio grafico, che fu già addottato per rappresentare lo sviluppo dei gruppi organici nel corso delle epoche geologiche.

Rocce serpentinose e peridotiche
Leucitofiri
Trachiti, Fonoliti, Andesiti, ecc.
Basalti e Doleriti
Rocce pirosseniche (Grünstein)
Rocce amfiboliche (Dieriti, Ofiti, ecc.)
Porfidi e Melafiri
Graniti, Gneiss, Sieniti, ecc.

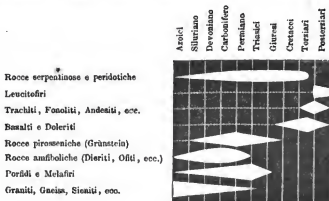



Fig. 32. Schema elementare della comparsa e dello sviluppo delle rocce eruttive nelle diverse epoche del globo.

L'esposto schema ci aiuta a cavare alcune conclusioni, abbastanza giustificate dalla storia, per quanto imperfetta, dalle rocce eruttive.

1.° Colla successione delle epoche geologiche variarono, come le faune e le flore, i prodotti vulcanici.

2.° Ogni famiglia di rocce eruttive presenta un certo periodo, più o meno lungo, durante il quale è destinata a comparire, svilupparsi e perdersi.

3.° Rocce di diversa natura furono prodotte nella stessa epoca dagli stessi vulcani.

4.° Le rocce eruttive si possono dividere in due grandi gruppi fondamentali, *alluminose* e *magnesiache*. Esse si tengono sopra due linee approssimativamente parallele, cominciando colle epoche più antiche, e continuando fino alle più recenti.

567. Ad onta delle diversità, che presentano i prodotti eruttivi, sia nelle diverse epoche, sia nei vulcani della stessa epoca; chi ben riflette troverà che, la natura è pur sempre coerente a sè stessa. Anche in questo, come in tutti i fenomeni geologici, riluce quell'ideale dell'*unità nella varietà*, che si direbbe aver servito di modulo nel sistema della creazione. Tutte quelle lave, costituenti tanti gruppi diversi, eruttate a milioni d'anni d'intervallo l'una dall'altra, son pur tutte dei magma cristallini, generati nelle viscere della terra, in virtù dell'acqua portata, ad alta temperatura: tutti si aprirono la via attraverso le fratture della crosta terrestre, e vi si arrestarono in forma di dicco, o si rovesciarono al di fuori, in forma di espandimenti o di correnti. Tante varietà di giacitura e di struttura vedemmo non dipendere da altro, che dalle circostanze diverse, le quali accompagnarono la loro produzione, e principalmente dall'aver luogo piuttosto sotto le acque che sotto la libera atmosfera.

568. Meno facili a spiegarsi ed a conciliarsi coll'ideale dell'*unità nella varietà*, sono le differenze di composizione, per cui esistono lave così diverse, che si direbbe avere la natura a volte a volte mutate radicalmente le sue leggi. Eppure, a ben con-

siderare, non sono punto mutate le leggi della natura, ma semplicemente sono modificate le condizioni, nelle quali esse leggi furono applicate. Il variare dei prodotti eruttivi nelle diverse epoche del globo non è fenomeno più meraviglioso del variare diurno di tanti fenomeni naturali, le cui modalità sono condizionate, per esempio, al grado di temperatura, di luce, di elettricità. Trattandosi poi d'un processo chimico (chè ad un processo chimico si riduce veramente la generazione delle lave) sappiamo quanto poco basti, perchè dagli stessi elementi risultino diverse combinazioni.

569. Le esperienze di G. Rose sugli stati eteromorfi, mostrano come poco basti, perchè i prodotti endogeni siano variati. Basta in fatti il variare della temperatura, per ottenere prodotti mineralogici diversi. Così il citato Autore, evaporando soluzioni di carbonato di calce, alla temperatura ordinaria, ottenne romboedri e tavole di spato alla superficie, e globuli di creta in fondo al vaso; mentre l'evaporazione ad una temperatura più elevata produce alla superficie prismi d'arragonite e tavole di spato; sul fondo romboedri di spato calcare. Rimarcò inoltre che, adoperando per via umida, ad una temperatura elevata, il carbonato di calce si depone allo stato di spato calcareo, quando sia circondato d'una atmosfera d'acido carbonico (Lecoq, *Les eaux minérales*, pag. 217).

570. È per similitudine soltanto che ho citato le esperienze sul carbonato di calce, minerale da filone, piuttosto che minerale vulcanico. Ma non ci mancano fatti per dimostrare, come tutte le combinazioni possono verificarsi o no, a seconda del variare, anche in grado minimo, delle condizioni dell'ambiente. Per parlare di due minerali eminentemente vulcanici, l'*orneblenda* (anfibolo) e l'*augite* (pirosseno) sono da alcuni moderni ritenuti come varietà cristallografiche dello stesso minerale. Eppure difficilmente si trovano nella stessa lava: anzi noi abbiam visto come l'orneblenda caratterizzi una grande famiglia di lave più antiche (rocce amfiboliche), mentre l'augite caratterizza un'altra famiglia di lave più moderne (rocce pirosseniche). G. Rose, fondendo delle masse d'orneblenda, le vidde sempre, raffreddandosi, assumere la forma dell'augite (Lyell, *Manuel* II, p. 228). Io non voglio dedurne che l'augite nelle lave pirosseniche sia prodotta dalla fusione dell'orneblenda, per cui una lava anfibolica si trasformi in una lava augitica. Ciò che voglio dedurne è questo soltanto, poco bastare perchè un minerale sia ad un altro sostituito nei complicatissimi processi della natura.

571. Ma la via migliore per vedere se la natura operò sempre conformemente a sè stessa, generando le lave fin dagli antichissimi tempi, sicchè, tra le lave attuali e gli antichissimi graniti, non si verifichino altre differenze che accidentali; la via migliore, dico, è quella di esaminare la composizione elementare, o direbbesi sostanziale dei diversi minerali componenti le lave, per vedere se il valore delle differenze non fosse per avventura piuttosto apparente che reale.

L'analisi delle rocce, al punto a cui è condotta in oggi, ci permette di abozzare una sintesi, diretta a farci apprezziare per bene il valore sia di quella uniformità, che noi sosteniamo, sia della moltiplicità voluta dai più. Vedremo come l'uniformità risulti netta dallo studio sintetico, e risieda nella sostanza; mentre la moltiplicità giganteggia nelle apparenze, e trionfa nelle accidentalità.

572. Anzitutto, le rocce evidentemente eruttive, constano essenzialmente di pochi minerali, i quali alla loro volta si riducono a un piccol numero di sostanze elementari. Nel seguente specchio leggonsi i minerali, che direbbonsi cardinali, in rapporto coi rispettivi elementi. Per semplificare ho considerato come una sola specie minerale le diverse che, come i feldspati e le miche, passano sotto lo stesso nome, notando

però gli elementi che costituiscono tutte le diverse specie. Gli stessi mineralogisti, applicando lo stesso nome a minerali diversi, dimostrano quanto siano accidentali i caratteri che distinguono le diverse specie o varietà. (*Parte seconda*, § 115).

1.° Specchio.

Minerali cardinali e loro componenti.

SPECIE E VARIETA'	Ossigeno	Silicio	Alluminio	Magnesio	Calcio	Potassio	Sodio	Ferro
Quarzo	+	+						
Feldspato	+	+	+		+	+	+	
Mica	+	+	+	+				+
Talco	+	+		+				
Amfibolo	+	+		+	+			+
Augite (Pirosseni)	+	+		+	+			+
Leucite (Anfigeni)	+	+	+			+		
Diallagio	+	+		+	+			+

573. Osserviamo ora come gli otto minerali indicati nello specchio precedente costituiscano le diverse rocce eruttive. Scelgo dal catalogo di Daubrée (*Classification adoptée pour la collection des roches du Museum.* Paris, 1867), che io stimo il miglior compendio di litologia, al livello della scienza odierna, quelle fra le rocce cristalline o composte, che debbono ritenersi veramente tipiche, sia per la loro composizione, sia per la loro estensione in ordine al tempo e ai luoghi, quelle insomma che possono dirsi, fra le eruttive, le rocce fondamentali del globo. Eccole nel seguente specchio, in rapporto coi rispettivi componenti.

2.° Specchio.

Rocce eruttive principali e loro componenti.

SPECIE E VARIETA'	Quarzo	Feldspato	Mica	Talco	Amfibolo	Augite (Piros.)	Leucite (Anfig.)	Diallagio
Granito o Gneiss	+	+	+					
Pegmatite	+	+	+					
Protogino	+	+	+	+				
Porfiro quarzifero	+	+						
Porfiro non quarzifero		+						

Digitized by Google

SPECIE E VARIETA'	Quarzo	Feldspato	Mica	Talco	Amfibolo	Augite (Piros.)	Leucite (Anfig.)	Diallagio
Enrite		+						
Trachite, Sanidofiro e Fonolite . .		+						
Andesite amfibolifera		+			+			
" pirossenica	+	+				+		
" quarzifera		+						
Dolerite.		+				+		
Basalte		+				+		
Anfigenite.						+	+	
Melafiro		+				+		
Eufotide		+			+	+		+
Granitone (Eufot. Bronzite) . . .		+				+		
Sienite		+			+			
Diorite	+	+			+			
Tonalite		+	+		+			

Tenendo ora sott'occhio i dne specchi precedenti, vediamo di dedurne tutte quelle conclusioni, che ci impone la logica del fatti.

574. Otto sostanze elementari compongono i minerali cardinali; e otto minerali cardinali compongono le principali rocce che sgorgano dalle viscere del globo. Non si creda che noi siamo per attribuire alcnn valore alla simmetria dei numeri, cui leggiamo quali ci risultano. Avremmo potuto del resto aggiungere o levare uno o più elementi come uno o più minerali dalle due liste, dateci dal *I.° Specchio*, senza che il valore delle conclusioni venisse punto a scemare.

Fra gli otto elementi ne vedlamo due, che possono dirsi veramente essenziali: l'ossigene e il silicio, i quali due, riuniti di fatto costantemente in un solo, l'acido silicico, ossia la selce, si uniscono or coll'uno or coll'altro, ora con più de' sei rimanenti. La formola dei minerali principali, sarebbe qnesta semplicissima: *Silicati di allumina*, *di magnesia* o *di calce*, *a base di potassa o di soda*, *a cui si associa frequentemente il ferro*. Quand' anche volessimo aggiungere alla lista dei minerali principali, quelli che a loro si associano più di frequente, e che hanno pure una grande importanza nella composizione delle rocce eruttive, quali sarebbero l'olivina, il granato, la tormalina, l'epidoto, i diversi ferri, ecc., la formola espressa non rimarrebbe punto alterata.

575. Fissandoci ora sul *2.° Specchio* ci rifulge ancora la stessa legge di uniformità e di semplicità. Per qnanto vario e molteplice sia l'impasto delle diverse rocce eruttive, isolandone i componenti, altro non ci resta che, o selce pura, o selce combinata con piccol nnmero di elementi. Cio è tanto vero che in una classazione delle rocce secondo l'elemento elettro-negativo proposto da Daubrée *(Classification adoptée* ecc.), tutte le rocce eruttive sono comprese in una sola famiglia, quella delle *Silicidi.* Tra i silicati, quello che si direbbe unico essenziale è il *feldspato*, nelle sne

Digitized by Google

diverse forme. Il *feldspato* esiste e domina in tutte le rocce inscritte. Non ne eccettueremo nemmeno l'*Anfigenite*, perchè *l'anfigene*, sostituito al feldspato in tante masse rocciose d'epoca relativamente recente, è infine, elemeatarmente, un feldspato, cioè un silicato di allumina a base di potassa. La formola delle rocce eruttive serebbe ancora quella dei minerali: quella dei componenti applicata ai composti: e le rocce eruttive si direbbero: *Composti di silicati di allumina, di magnesia e di calce, a base di potassa o di soda, a cui si associa frequentemente il ferro.*

Se alcuno, non pago di una sintesi così semplice, ci accusasse di avere per avventura trascurati molti componenti delle rocce eruttive, che pure talora dovrebbero considerarsi come costitutivi necessarî, o che sono, ad ogni modo, benchè quasi accidentalmente, così sparsi nelle rocce, da non potersi impunemente escludere dal calcolo; ricorderemo come essi minerali, mentre non alterano la formola dei minerali principali, non altererebbero quella delle rocce, sempre inteso che si considerino come costitutivi, anche accidentali, delle rocce, soltanto quei minerali che fanno parte delle rocce stesse originariamente, che entrano veramente nell'impasto delle grandi masse, non quelli che vi si introdussero poi, come le zeoliti, e i minerali delle vene, dei filoni, per infiltrazione, per sublimazione ecc. Se vogliam tener calcolo anche dei minerali accidentali della prima categoria, che compajono pur come tali nel citato catalogo di Daubrée, ancora più splendida ne risulta l'uniformità delle rocce eruttive in tutti i luoghi. Tali minerali accidentali infatti, o sono ancora del numero de' principali, che cessano d'esserlo in una data roccia, per figurarvi come parti secondarie, o sono per dir così, associazioni parziali degli stessi elementi, che costituiscono i minerali principali. Il mica, per esempio, che figura come vero costitutivo dei graniti, dei gneiss, delle pegmatiti, abbonda ancora nei protogeni, e non lascia quasi mai di presentarsi nelle diverse rocce eruttive, abbondando ancora nelle lave più moderne. Dicasi più o meno lo stesso del quarzo e dell'amfibolo. Venendo ai minerali più communi, che non entrano nella lista dei principali componenti, avremo ancora il ferro, sotto le forme di oligisto, di ferro magnetico, di ferro titanato, ovvero diversi pirosseni, l'olivina, l'epidoto, il granato, la tormalina, ecc., silicati che ripetono, con diverse proporzioni, e con diverso modo di associazione, alcuno de'principali.

576. Rimarranno ancora ne'miei lettori dei dubbî circa allo scarso numero di tipi, a cui abbiamo ridotto nel 2.° *specchio* le rocce eruttive. Una collezione di rocce cristalline non è ella la disperazione di qualunque più provetto litologo, per quella infinita varietà di forme, che essa presenta? Eppure è così.... Omettendo alcune poche rocce, perchè figurano come specialità locali di poca importanza, e lasciando di parlare dei sorpentini, e delle rocce serpentinose e cloritiche, che vanno considerate, secondo me, sotto un punto di vista diverso, i tipi delle rocce eruttive si riducono allo scarso numero indicato dallo specchio. Le molte altre rocce, che possono citarsi, o sono modificazioni, modi di essere parziali, delle rocce già comprese nei tipi, o sono aggregati speciali, quasi direbbonsi masse isolate di alcuno de' minerali, che entrano nella composizione delle rocce tipiche. Voi potrete tutte collocarle nelle tre seguenti categorie:

1.° Rocce formate per aggregazione fortuita, principalmente meccanica, di frammenti di rocce tipiche, misti talora a frammenti di rocce sedimentari, o d'altra origine qualunque. Questa prima categoria comprende i trass, i peperini, i tufi vulcanici, i conglomerati porfirici, probabilmente alcuni argillofiri (impasti argillosi con cristalli di feldspato, d'ordinario allo stato di decomposizione) e tutte quelle masse immense di detriti vulcanici, risultato di eruzioni fangose, di piogge di cenere e di la-

pilli, di confricazione, di decomposizione. Ognun vede come tali rocce saranno da riferirsi, nella questione della loro primitiva origine, ai rispettivi tipi, di cui non sono che particelle staccate.

2°. Rocce rappresentanti uno stato speciale delle rocce tipiche, dovuto all'eccesso della temperatura, ossia rocce tipiche fuse. La perlite, l'obsidiana, la retinite, non sono altro che masse feldspatiche, che hanno subìto tale influenza del calore, da trasformarsi in una specie di vetro e di smalto, rimanendo fusi in un solo impasto i diversi elementi, che le costituivano in origine. Infine le rocce nominate si direbbero porfidi, trachiti o andesiti allo stato di fusione incompleta. Le pomici si direbbero benissimo scorie di obsidiane, come le scorie communi, non sono che trachiti, andesiti, anfigeniti rese bollose dalla dilatazione dei vapori. A fianco delle obsidiane andrebbe forse collocata la labradorite, massa di solo feldspato labrador, e forse l'afanite pasta di amfibolo e di feldspato.

3.° Rocce formate dal parziale isolamento di alcuno dei minerali costituenti essenzialmente o accidentalmente le rocce tipiche. Nulla di nuovo in tali rocce, se non questo, che, invece di avere gli elementi costitutivi delle rocce eruttive mescolati in piccole masse, abbiamo gli stessi elementi separati in grandi masse. L'amfibolite è una massa d'anfibolo; l'epidotite è quasi interamente costituita dell'epidoto; la granatite è granato in massa; la dunite è una pasta di olivina e di ferro; la leptinite è puro feldspato.

577. Così abbiamo passato in rassegna si può dir tutte le rocce eruttive o composte, portate dal catalogo di Daubrée, senza che ci si presenti nulla di essenziale, che non sia già espresso nei due specchi precedenti, in cui si manifestano la semplicità e l'uniformità meravigliosa del processo adottato in tutti i tempi dalla natura, perchè la terra concepisse e partorisse quegli immani colossi, che in tutti i tempi si rizzarono sulla sua superficie.

578. Io non spero al certo di aver buon viso presso gli adoratori delle classazioni, che tutta ripongono la scienza nelle divisioni e suddivisioni. Essi mi opporranno le voluminose nomenclature, le collezioni immense, svariatissime, ove ciascuno di quelle migliaia di pezzi ha un nome, o almeno un predicato a sè. Benissimo! Io non spregio l'analisi per careggiare la sintesi: anzi è l'analisi che conduce alla sintesi. Dopo tanto lavorare di cannello e di reattivi; dopo tanto moltiplicarsi di varietà e di nomi che le esprimono; che altro ne disse l'analisi se non questo: che tutte le rocce eruttive si riducono a pochi tipi, e questi a pochi minerali, e quest'ultimi infine a pochi elementi? se non che la natura è sempre uguale a sè stessa nella sua inesauribile variabilità? se non che nel sostanziale si mantiene costante l'unità, mentre negli accidenti trionfano la moltiplicità e la varietà? Ecco alcuni periodi, coi quali lo Scrope conclude la sua minutissima rassegna dei vulcani e dei prodotti vulcanici. « In tutte le contrade del globo, sotto qualunque grado di latitudine, si osserva che le eruzioni, ove si manifestarono, sono caratterizzate dalle stesse squarciature della crosta terrestre, in fessure generalmente parallele, talora trasversali, che furono accompagnate da terremoti e da altri segni del gonfiarsi, del sollevarsi, di materie sotterranee in ebollizione; che vapori d'acqua, mista di acidi, esplodendo, rigettano liquide gocce, o frammenti cellulari di sostanze minerali, del tutto o parzialmente fuse, cui diam nome di *lava*, la quale, espulsa in getti o in correnti, talora si distende sopra superficie immense, a enormi distanze, talora si accumula, in masse voluminose, attorno all'orifizio di eruzione, a seconda della sua liquidità e del suo peso specifico. Lo studio di questa materia minerale, quando è consolidata in roccia, rivela dovunque lo stesso basalte, lo

stesso *greystone* o trachite, composti degli stessi elementi minerali, benchè in proporzioni differenti. Queste varietà di rocce si trovano talvolta distinte per località; ma il più delle volte alternano fra loro (nella stessa località). Dovunque però scorgonsi le stesse varietà di struttura, dall'obsidiana vitrea, indice di fusione completa, alla roccia cristallina o granitoide più grossolana. »

« In breve, nei caratteri distintivi di un vulcano, di una roccia, o di una regione vulcanica di una parte del globo o degli antipodi, vi ha tale identità, che si direbbero prodotti a fianco l'uno dell'altro. Gli è la stessa cosa, come ognun sa, che si verifica pei graniti plutonici, per le sieniti, pe'gneiss, per gli schisti e pei *trapp*, ossia per le rocce vulcaniche antiche, la cui composizione minerale, la cui struttura, le cui relazioni cogli strati sedimentari da loro attraversati, i cui caratteri generali, in una parola, sono gli stessi su tutti i punti del globo. *Gli stessi strati sedimentari sono molto meno uniformi, tanto nella loro composizione minerale quanto nella loro disposizione!!!....* (*Les volcans*, pag. 494). »

Ho marcato l'ultimo inciso, che non mancherà di urtare le opinioni contrarie della maggior parte. Eppure quando si pensa, come ragiona lo Scrope, all'infinita varietà delle condizioni in cui si formarono le rocce sedimentari, alle innumerevoli influenze esercitate prima dal vario clima, da tutti gli agenti meteorici, dalle forze della vegetazione e della animalità, poi dagli agenti interni, dai gas, dalle sorgenti, dai vulcani, dalla pressione, dal calore interno, infine da tutte le forze esogene ed endogene; si comprenderà di leggieri come l'opinione commune, circa l'uniformità delle rocce sedimentari e circa l'estrema diversità delle eruttive, è basata piuttosto sulle apparenze che sulla realtà. Non si rassomiglia esso meglio il granito delle Alpi a quello d'Inghilterra o d'America, che, spesse volte, uno strato calcare allo strato calcareo che lo ricopre? L'attività interna del globo è complessa, variabile, ma una; l'attività esterna riunisce alla massima complessità, alla somma variabilità, la più decisa moltiplicità.

579. Per ribadire l'idea dell'uniformità nell'agire della natura in tutti i tempi, mi si permetta ancora qualche osservazione sulla presenza, nei prodotti eruttivi, delle diverse epoche, di quel minerale, che devesi considerare come la base di tutti gli altri prodotti eruttivi. Parlo del quarzo, cioè dell'acido silicico libero. È certo che il quarzo abbonda a preferenza nelle lave più antiche, e precisamente nei graniti; mentre scompare quasi letteralmente dalla maggior parte delle rocce eruttive moderne. Si volle quindi fare del granito, anche sotto questo rapporto, una specie di mito, assegnandogli origine diversa da quella delle lave, colle quali accommuna tutti i più essenziali caratteri. L'abbondanza del quarzo nelle rocce primitive gli è precisamente una pura accidentalità, come l'abbondanza dell'anfigene nei moderni leucitofiri. Dico trattarsi di accidentalità, perchè il quarzo, o direm meglio l'acido silicico, si trova quasi nelle stesse proporzioni nelle lave di tutti i tempi, nei graniti come nei leucitofiri: ma in quelli è libero, in questi è combinato; ma in quelli è allo stato di selce, in questi allo stato di silicato.

580. Le osservazioni di Scherer, di Bischof, di Zschau dimostrano come il quarzo fu sempre l'ultimo a cristallizzarsi nei graniti. Ciò vuol dire che la formazione dipende da un eccesso di acido silicico, il quale sopravvanzava alle combinazioni del mica, del feldspato, e d'altri silicati. Non c'è nulla da meravigliarsi se, formandosi, per accidentalità di condizioni, altri silicati più acidi, non rimanga nessun residuo di acido libero. Anche nei graniti il quarzo si trova talora in tenuissime proporzioni.

581. Del resto, parlando della presenza e dell'assenza del quarzo nei prodotti eruttivi cronologicamente ordinati, tutto si riduce ad una questione di più o di meno. Il

Digitized by Google

quarzo infatti si associa in dose maggiore o minore, ai prodotti eruttivi di tutti i tempi. Noi troviamo infatti che i graniti, lave dei primissimi tempi, si legano per transizioni ai porfidi, lave a preferenza dei tempi medî. I porfidi quarziferi, che pigliano sì grande sviluppo verso la fine dell'epoca paleozoica, presentano delle miscele quasi identiche a quelle dei graniti. Du Rocher non dubita di affermare che graniti e porfidi non rappresentano spesso che diversi modi di sviluppo di una stessa sostanza. Parlando del quarzo in particolare, esso è talvolta più abbondante in certe varietà di porfidi che in certe varietà di granito. In queste condizioni si trovano rispettivamente, se l'occhio non mi ha ingannato, i porfidi rossi di Val Ganna ed i graniti di Baveno. Non solo pel quarzo, ma anche per gli altri minerali, tra i graniti ed i porfidi s' incontrano tali affinità, che si dovrebbero introdurre i nomi di *porfidi granitici*, *porfidi sienitici*, constando quei porfidi di aggregati cristallini, granulari, di feldspato e di quarzo, a cui si aggiungono il mica pei primi, l'orneblenda pei secondi (Naumann, *Lehrb.* II, pag. 684).

582. Il quarzo si trova ancora nelle rocce eruttive d'origine più recente, come nelle perliti, nelle trachiti, nei porfidi trachitici, nelle andesiti, ecc. Spallanzani (*Viaggio alle due Sicilie*, II, pag. 130) descrive le lave di Basiluzzo, isoletta delle Eolie, e quelle della vicina Panaria, come composte di quarzo, feldspato e mica. Nelle trachiti, per esempio, il quarzo è così commune che si dovette stabilire il gruppo, divenuto assai numeroso, delle trachiti quarzifere. Zirkel ne cita un buon numero, quella, per esempio, del piccolo Rosenau nel Siebengebirge, quella di Hohenburg, quella dell'isola Ponza, che assomiglia ad un minuto granito, dell' isola Palmarola, del monte Kradek in Ungheria, del Monte Venda negli Euganei, del Monte Cattaio pure degli Euganei, straricca di quarzo, ed altre parecchie. La varietà di trachite, d'età molto recente, a cui Roth applica il nome di Liparite, è ricca di quarzo; anzi Bischof la ritiene una varietà molto affine al granito e al porfido quarzifero. Siccome risulta dalle analisi che le trachiti in genere hanno una composizione presso che identica a quella de' graniti; così si può affermare, che le eruzioni de' graniti continuarono, con leggerissime modificazioni, dai primordî dell'epoca azoica fino ai tempi recentissimi.

583. Considerando ora le rocce eruttive, ordinate cronologicamente, nei loro rapporti colle rocce sedimentari, ne risulta il gran fatto, che anche le rocce eruttive seguono lo svolgimento del globo, e che la loro comparsa è un'effetto di quelle oscillazioni, le quali, rompendo la crosta terrestre e sollevando le rocce sedimentari, rimutarono di continuo la faccia del globo, finchè ebbe luogo l' attuale distribuzione dei continenti e de' mari. Finchè le nostre aree continentali ci si palesano in genere, fondi sottomarini, ove si accumularono, per lo spessore di tante migliaia di metri, i sedimenti, ove giacciono le reliquie di tante faune marine; anche le rocce eruttive presentano, in genere, l'aspetto di lave sottomarine. Come a volte a volte si determinarono delle arèe asciutte, apparvero cioè delle terre, così a volte a volte i vulcani sottomarini si mutarono in subaerei, e le rocce eruttive assunsero i caratteri di subaeree eruzioni.

584. Noi troviamo già indizî di eruzioni subacree, sulle nostre aree continentali, nell'antichissimo periodo dei Potsdam (cambriano). In fatti ai trapp di quel periodo, descritti da Dana (§ 4400), si associano conglomerati di scorie vulcaniche, somiglianti a tufi vulcanici. In Europa i prodotti di eruzioni subaeree, cioè le ceneri e i tufi vulcanici, presentano già un maraviglioso sviluppo nel siluriano inferiore d'Inghilterra. Anzi i conglomerati vulcanici, che offrono l'aspetto di ceneri, si scoprono sulla Severn tra il cambriano superiore ed il siluriano inferiore (§ 443). Le ceneri feldspatiche si scoprono pure nel siluriano medio, cioè negli *strati di Caradoc* nella Gal-

les del nord. Le colline del Pentland ci sono già state dipinte da Ramsay come un arcipelago vulcanico nel mare devoniano della Scozia. Ma colla comparsa delle terre carbonifere, coperte di vergini foreste, era naturale che si sviluppasse pure sulle aree nostro continentali il vulcanismo subaereo. Che ciò sia avvenuto diffatti lo attestano le ceneri, i tufi, le bombe, che ci dipingono nelle Ebridi e nella Scozia un gruppo di vulcani subaerei nel massimo parossismo d'attività.

585. Ma gli edificî vulcanici, eretti sicuramente in que' tempi, non potevano pretendere ad alcuna stabilità. Su quelle aree, di continuo oscillanti, e in via di continua depressione, il mare aveva l'assoluto predominio, sicchè i coni vulcanici non potevano godere che di una effimera esistenza. I prodotti dei vulcani, anche subaerei, delle epoche paleozoiche, e di quelle che corsero fino ai periodi più recenti, in cui cominciarono a fissarsi sulle loro basi i nostri continenti, non potevano presentare altro carattere che quello di espandimenti o di sedimenti sottomarini. Noi abbiamo veduto come i nostri continenti siano una recente creazione; come si possa dire che essi in massa sorsero dal mare dopo la deposizione dell'eocene medio.

586. La comparsa dei primi apparati vulcanici, dei veri coni craterici, conferma splendidamente questo fatto, nel quale sta, per mio avviso, il risultato più importante della geologia teorica. Fra il miocene ed il pliocene infatti i vulcani presentano in genere i prodotti di eruzioni subaeree. Ma essi oscillano, per dir così, tra il sottomarino, l'insulare ed il terrestre. I grandi distretti vulcanici della Germania ritraggono al vivo questo stato di oscillazione. Così dicasi dei vulcani terziarî del Vicentino. E così doveva essere, se que'vulcani erumpevano da fessure, che si andavano formando, mano mano che sorgevano dal mare gli attuali continenti. Que'vulcani, nascenti sui limiti tra i mari ed i continenti che si sollevavano dovevano essere in genere vulcani sottomarini, che, trasformandosi in vulcani subaerei durante i grandi parrosismi, dovevano poi, come ai tempi nostri la Giulia e la Sabrina, cadere sotto gl'impeti del mare. Ma alcuni di que'vulcani trovarono condizioni abbastanza propizie per salvarsi e per assicurare dalle ire del mare i loro conici edificî. A quale epoca infatti rimontano i primi coni craterici, i primi veri vulcani, se per vero vulcano si volesse intendere solamente un vulcano terrestre con cono o cratere, come il Vesuvio, come l'Etna, come tante centinaja di vulcani attuali?

587. I crateri di Fichtelgebirge e del Riesengebirge, dell'Eifel, possono ritenersi pliocenici, e alcuni ancor recenti. Lo stesso dicasi dei crateri del Siebenbürgen. I vulcani della Sardegna eruppero tra i primordî del *miocene* e quelli dell'*antropozoico*. I vulcani dell'Italia centrale sono *postpliocenici*.

I vulcani della Catalogna versarono le loro lave sugli strati eocenici già sollevati, già erosi. Infine i vulcani craterici più antichi, di cui si conosca, con certa approssimazione, la data, sono i vulcani della Francia centrale, quei coni colossali del Mont Dore, del Cantal, del Mezen, le cui prime eruzioni rimontano o all'eocene superiore o al miocene inferiore. Poteva egli, per dirlo ancora una volta, desiderarsi una coincidenza più perfetta per dimostrare, che il sollevamento dei nostri continenti, è un fatto avvenuto posteriormente all'*eocene medio?*

588. L'evoluzione dei continenti fu progressiva, lenta, a riprese; per cui anche i vulcani, che la seguivano, dovettero comparire successivamente, a diversi intervalli di tempo; per cui, in fine, il grande sistema dei vulcani del globo, in cui vanno annoverati anche i vulcani spenti dell'epoca terziaria, delineando, in concorso coi vulcani più recenti o ancora attivi, il perimetro dei nostri continenti, cioè le basi dei grandi rilievi attuali del globo; questo grande sistema dico, consta di vulcani spenti

e di vulcani attivi, di vulcani che eruppero a partire dalla fine del periodo eocenico. e di vulcani che ardono tuttavia.

Ho detto che il sollevamento degli attuali continenti avvenne anche a riprese, e voleva dire che non si produsse di getto, per un movimento, lentissimo se si vuole, ma continuo. Il sollevamento fu l'esito di molte riprese da parte della forza sollevante, per cui si ingrandivano successivamente, e a intervalli, le aree continentali, aggiungendosi sempre nuovi lembi esterni al primitivo rilievo centrale. Il mio concetto si traduce bonissimo nel fatto, che, preso qualunque grande rilievo continentale, i terreni più recenti affettano più o meno la forma di zone giranti all'esterno di un rilievo formato di terreni più antichi. La cosa si verifica assai bene, in genere, se noi pigliamo di mira il miocene, il pliocene e il postpliocene, i quali figurano appunto come lembi aggiunti esternamente, e successivamente, ai rilievi continentali, il di cui deciso sollevamento cominciò verso la fine dell'eocene. Qui sta, io credo, la ragione, della moltiplicità delle zone parallele di vulcani, che disegnano, come dissi, il perimetro continentale. Trattasi infatti, non di una linea, ma di una zona di vulcani, alle basi dei grandi rilievi, e questa zona si mostra spesso formata di file parallele di vulcani. Se si studiano i rapporti cronologici delle diverse file, pare che esse siano tante più giovani, quanto più esterne, cioè lontane dal rilievo centrale, e viceversa; per cui si vede che le linee di eruzione venivano portate sempre più lontane dal centro di sollevamento.

589. La disposizione dei vulcani d'Italia servirà d'esempio, che rischiari il mio concetto. Che le Alpi sian state sollevate a riprese, lo mostrano i terreni recenti, che si deposero successivamente al piede delle Alpi stesse o dell'Appennino, che ne secondava, appunto nei periodi più recenti, cioè posteriormente al *nummulitico*, il movimento ascensionale. La disposizione e il livello dei terreni mostrano, come ebbe luogo un primo sollevamento durante l'eocene; un altro durante il miocene; un terzo dopo il pliocene; un quarto dopo il periodo glaciale; o come ebbe luogo piuttosto un sollevamento progressivo, ma saltuario, oscillatorio, per cui venivano allargandosi progressivamente le basi delle Alpi, e nei mari, che si andavano allontanando dall'asse alpino, si deponevano nuovi sedimenti, mentre i vecchi venivano guadagnando a riprese le sublimi alture, ove posano attualmente. I vulcani, dovendosi tenere alla base dei rilievi, dovevano anche necessariamente spostarsi, e scaglionarsi in file parallele, sorgenti sempre più lontano dall'asse alpino, quindi approssimativamente da nord a sud. È un fatto intanto che noi troviamo a nord, precisamente al piede delle Alpi, gli Euganei, i Berici, e i colli basaltici del Veronese e del Tirolo, rappresentanti un gruppo di vulcani che arsero durante l'eocene e il miocene. Più a sud troviamo la gran linea di vulcani dell' Italia centrale, che eruppero quando il pliocenico era già chiuso. Se vogliamo trovare i vulcani ardenti, li cercheremo ancora più a sud, nel Napoletano e nella Sicilia.

590. Più ancora parlante è l'esempio offertoci dalla Nuova Zelanda. Ricordate quanto abbiam detto in proposito al sollevamento progressivo e a riprese di quelle isole, e al parallelismo di quelle zone vulcaniche colla catena principale (§ 549-551). L'isola meridionale mostra due file di vulcani; la settentrionale tre. Quella che più avvicina la grande catena nell'isola meridionale, rimonta, con tutta probabilità, ai primordi dell'epoca terziaria; l'altra, più esterna e parallela alla prima, è indubbiamente più recente, e tocca l'epoca quaternaria. Le tre file vulcaniche dell' isola settentrionale (prescindendo dalle lave più antiche del Manukau, del Waikato, ecc. di cui non mi sono noti abbastanza i rapporti) sono assai recenti; ma anch'esse sono scagliona-

te, partendo dalla grande catena, a distanze proporzionate alla loro età. Almeno questo si può credere, sulla testimonianza di Hochstetter, della *zona del Taupo*, la più meridionale in confronto della *zona di Auckland* più settentrionale, e quindi più discosta dalla catena principale. Sono concetti un po' immaturi, lo intendo, ma si fondano sui fatti: e lo studio perseverante dei fatti li recherà a maturanza.

591. Intanto dalla storia, così oscura, così povera di documenti, del vulcanismo nelle diverse epoche del globo, possiamo dedurre il concetto sintetico, che i vulcani seguirono, come l'effetto segue la causa, le rivoluzioni del globo, traducentisi in un rimutamento continuo della sua superficie, dapprima mediante un sistema oscillatorio di depressione, poi mediante un sistema oscillatorio di sollevamento. Finchè sulle aree nostre continentali ebbe dominio il mare, i vulcani nostri non poterono atteggiarsi che a modo di vulcani sottomarini. Se divennero subaerei, non lo furono che di passaggio, dovendo cedere in seguito i loro prodotti, i loro edificî, al mare, nel cui seno furono incubati i continenti nostri, fino a quell'epoca molto recente, in cui essi continenti nostri divennero, rimasero e rimangono tali. A partir da quell'epoca soltanto (e la si può datare dalla fine dell'eocene) poterono, non formarsi soltanto, ma rimanere sicuri dalla furia vandalica delle onde, i coni vulcanici, il cui esercito innumerevole è schierato alla base dei grandi rilievi attuali del globo.

XVI. I filoni.

Diversi ammassi di minerali, 592. — *Loro forme*, 593. — *I filoni*, 594. — *Definizione*, 595. — *Natura*, 596. — *Nomenclatura*, 597. — *Origine*, 598. — *Forma*, 599. — *Potenza*, 600. — *Riempimento*, 601. — *Filoni semplici e composti*, 602. — *Fetucciati*, 603. — *Esempio*, 604. — *Druse ne' filoni*, 605. — *Associazioni*, 606. — *Regolarità*, 607. — *Irregolarità*, 608. — *Il riempimento è d'origine endogene*, 609. — *Come generato?* 610. — *Da quali agenti?* 611. — *Esempio per sublimazione*, 612. — *Sorgenti di Malou*, 613. — *I filoni come indizî dell' attività perimetrica*, 614. — *Distretti metalliferi in rapporto colle rocce eruttive*, 615-624. — *Idee di Burat in proposito*, 625. — *I filoni prodotti per via umida*, 626. — *I diversi agenti in concorso coll'acqua*, 627. — *Ossigeno, azoto, idrogeno*, 628. — *Le emanazioni gazose vincolate alle sorgenti*, 629. — *I vapori acquei come parte prima nella formazione de' filoni*, 630. — *Sostanze fisse ne' vapori*, 631. — *I soffioni boraciferi considerati come filoni in azione*, 632-637. — *I minerali dei filoni nelle acque circolanti*, 638. — *Distinta di essi minerali scoperti nelle acque*, 639. — *Caratteri da cui si desume altrimenti l'origine acquea*, 640. — *Distinta dei minerali che li presentano*, 641. — *Conclusione*, 642. — *Mutabile ricchezza dei filoni*, 643. — *Il filone varia colla profondità*, 644-646. — *Non per influsso esterno*, 647. — *Fatti analoghi nei vulcani*, 648. — *Metamorfismo*, 649. — *Sistemi di filoni*, 650. — *Distinti dalla natura mineralogica*, 651. — *Cronologia de' minerali componenti i filoni*, 652. — *Esempî*, 653. — *Cronologia dei filoni*, 654. — *Dei sistemi*, 655. — *Cronologia dei filoni stabilita sui rapporti colle rocce incassanti*, 656. — *Sulla natura mineralogica*, 657. — *Sulla presenza de' minerali ne' sedimenti detritici*, 658. — *I filoni provano la ripetizione e l'intermittenza delle oscillazioni del globo*, 659, 660. — *La continuità dell' attività chimica*, 661. — *La sua mutabilità*, 662-665. — *La sua uniformità*, 666.

592. Ultimato quanto si riferiva alle rocce eruttive, ci rimangono altri ordini di fatti, i quali pure dipendono da quella stessa attività interna, da cui sono alimentati i vulcani antichi e moderni. Trattasi ancora di aggregati di minerali, che si presentano sotto diverse forme, a cui tuttavia non può applicarsi, quanto abbiamo detto sull'origine delle rocce sedimentari, del pari che sull'origine delle eruttive. Quegli ammassi poderosi di solfo, di gesso, di metalli e di sali, sopra tutto quel serpeggiamento di vene metallifere, in seno tanto alle rocce eruttive come allo sedimentari, ove l' uomo s'ingolfa e striscia, in cerca di tesori[1], tutto questo reclama nuovi studî, cerca nuove ragioni. Ma noi non abbiamo ancora esaurito gli archivî, ove il presente

risponde del passato. Abbiamo trovato nei vulcani le ragioni delle antiche rocce eruttive, come già trovammo nelle acque superficiali quelle degli antichi sedimenti. Finora però non abbiamo ricorso che affatto accidentalmente a quelle emanazioni di gaz e di vapori, alle sorgenti termo-minerali, ai geyser, alle salse, a tutta quella coorte di manifestazioni dell'attività vulcanica secondaria, la quale, come in presente, deve rivendicarsi gran parte dei fenomeni tellurici in passato. Osservando la varietà, la sottigliezza, l'attività di que' secondarî agenti, già si può ritenere *a priori*, che a loro si debbono tanti depositi minerali, i quali, simulando ora un processo eruttivo, ora un processo sedimentare, non possono in ultima analisi classificarsi nè tra le eruzioni, nè tra i sedimenti.

593. I minerali, ai quali alludiamo, costituiscono una parte affatto accidentale, benchè importantissima, nella compagine terrestre, ed appajono in diverse forme, cioè:

1.° Disseminati nelle rocce, quasi elementi accidentali di esse.

2.° In forma di amigdali nelle rocce eruttive.

3.° In forma di druse o di geodi tanto nelle rocce eruttive, quanto nelle sedimentari.

4.° In forma di ammassi polimorfi isolati.

5.° In forma di strati sedimentari.

6.° In forma di dicchi, cioè di filoni nelle rocce eruttive e sedimentari.

594. La forma di *filoni* è la più commune, la più interessante: quella che fu meglio studiata, e che mantiene dovunque una fisonomia uniforme, rispondendo all'ideale di un gran fenomeno tellurico, prodottosi in tutti i tempi. Vedremo d'altronde come nei filoni noi troveremo la ragioni di molti altri depositi, che loro son fratelli d'origine, benchè presentino altra fisonomia. Cominceremo dunque dai filoni le ricerche che vogliam fare circa quegli ammassi minerali, che non si possono riferire immediamente, nè alle formazioni sedimentari, nè alle eruttive. In questa prima disquisizione attingiamo specialmente a Burat, la cui opera (*Géologie appliquée*, Parigi, 1858), tratta in modo speciale dei giacimenti metalliferi.

595. Come si presentano i filoni? Il *filone* si può definire come una massa di un minerale, o di molti minerali insieme, compresa tra due piani approssimativamente paralleli, ordinariamente trasversale al piano degli strati o dei terreni in cui è incassata.

596. Il filone rappresenta evidentemente, come il dicco, il riempimento, la saldatura, di una spaccatura, operatasi nella crosta del globo. Ciò è messo in evidenza dagli strati e dalle rocce non stratificate, ma d'identica natura, che si continuano dall'uno e dall'altro lato del filone, spesso con salti evidentissimi, ed in fine con tutti que' caratteri da cui risulta l'esistenza di una spezzatura. In somma il filone è un dicco, il cui riempimento è di diversa origine; come quello che è costituito da un minerale, o da un aggregato di minerali, in luogo di esserlo da una roccia eruttiva ossia da una lava. I filoni, se piccoli, diconsi *vene*.

597. Se un filone comprende un minerale metallico, dicesi *filone metallifero*. Nel *filone metallifero* si distinguono la *matrice* (*ganga*, dal francese *gangue*), ossia la massa principale rocciosa, e il *filone* propriamente detto, ossia la parte metallica, costituente d'ordinario la minore o talora la parte affatto accidentale della massa. Specificando, avremo, per esempio, un *filone cuprifero*, in cui si trovi la pirite cuprea compresa in una *matrice* di quarzo: un *filone galenifero*, ove la galena sia impigliata in una *matrice* di quarzo e di baritina.

Digitized by Google

Delle due pareti che incassano il filone, supposto che esso filone si presenti sotto un angolo inclinato all'orizzonte, chiamasi *tetto* (in tedesco *Hangende*) quella che sta sopra al filone, e *muro* (in tedesco *Liegende*) quella su cui il filone riposa. Il *tetto* ed il *muro* sono sovente separati dal filone, mediante le *salbande*, ossia rispettivamente ciascuno da uno strato ordinariamento d'indole detritica, che rendo spesso così facile lo scavo, ossia lo *spoglio* del filone.

598. Dissi che il filone risulta originariamente da una spaccatura delle rocce preesistenti. Agli argomenti recati in proposito aggiungeremo le scanellature, e i lisci, presentati sovente dalle pareti, evidentemente prodotti dallo scivolamento (con robusta compressione, portata dal peso enorme delle masse), del tetto sul muro, o viceversa: ed è tanto vero trattarsi di spaccature, che talvolta, apertesi sul fondo dei mari o dei laghi, ebbero a dar ricetto ai testimoni irrecusabili della loro origine. Nell'Alvernia, nell'Harz, in Boemia, si trovarono ciottoli arrotondati entro il filone, fino alla profondità di 330 metri. Un filone di Cornovaglia conteneva, alla profondità di 180 metri, veri ciottoli discoidali di quarzo e di schisto, formanti un volume di parecchi metri, cementati dall'ossido di stagno e dal bisolfuro di rame. Nei filoni si scoprirono fin anche conchiglie marine. Virlet, per esempio, scoprì una *Gryphæa* in una miniera di piombo a Sémur; ed un corallo fu segnalato in un filone compatto di cinabro in Ungheria (Lyell, *Manuel*, II, pag. 451).

599. I filoni, presentando come dicemmo, un piano, quindi la forma di uno strato, come gli strati affiorano e presentano una data direzione e una data inclinazione. L'*affioramento*, la *direzione*, l'*inclinazione* dei filoni si pigliano nello stesso senso che per gli strati (*Parte seconda*, § 322, 323 e 326). Del resto, i mille accidenti di *filoni respinti*, *devianti*, ecc., si spiegano facilmente, quando si pensa che il filone non è che il riempimento d'una screpolatura.

600. La *potenza*, cioè lo spessore dei filoni, è naturalmente assai varia. Il filone argentifero di Veta-Madre, presso Guanaxato nel Messico, è forse il più potente che si conosca, variando fra i 30 ed i 45 metri: fu seguito sopra una lunghezza di 12 chilometri.

601. Venendo ora ai particolari del *riempimento*, per cui ebbero origine i filoni, noi abbiamo già osservato, parlando dei *salti* (*Parte seconda*, § 329), come tra le due pareti, ossia tra i due piani di frattura, esista, quasi invariabilmente, una massa detritica, composta di frantumi delle rocce stesse che costituiscono le pareti, prodotto d'una vera macinazione (*Parte seconda*, § 337). Quella massa detritica si può abusivamente chiamare filone. A rigor però di termini s'intende per *filone* una massa estranea per natura alle rocce incassanti, la quale venne a riempire il vacuo lasciato dalla spaccatura o dal salto. È poi caratteristica d'un vero filone la forma decisamente cristallina dei minerali che lo compongono. Le più communi *matrici* constano in fatti di quarzo, di spato calcareo, di spato fluore, di barite solfata, a cui si associano i diversi minerali metallici, cristallizzati, la galena, la blenda, le piriti, il ferro oligisto, il ferro spatico, ecc. Il detrito, prodotto dalla macinazione, trovasi poi sovente associato, e come impigliato nel filone. Ai minerali cristallini ed al detrito meccanico si congiungono poi molte volte l'argilla, l'ossido di ferro, e altri minerali, originati dalla decomposizione, spesso poco profonda, dei minerali cristallini o del detrito roccioso.

602. Talora è una sola matrice che costituisce il filone. Più spesso invece diverse matrici si presentano nello stesso filone. Da ciò i *filoni semplici* ed i *filoni composti*.

603. Pei *filoni composti* si verifica una legge di struttura, la quale, se non è uni-

versale, abbraccia la pluralità dei casi, e ne costituisce una caratteristica importante. Le diverse matrici si presentano sotto forma di zone o strati, parallele alle pareti del filone. Ciascuna matrice in questi casi è binata, ossia si ripete a destra e a sinistra d' una linea o di uno spazio mediano vuoto; sicchè una zona matrice della stessa natura, si incontra alla stessa distanza, partendo sia dal *tetto*, sia dal *muro*. Se, partendo dal *tetto*, giungo nel mezzo del filone, incontrando successivamente una prima zona di spato calcare, una seconda di quarzo, una terza di fluorine, una quarta di baritina; son certo, continuando dal mezzo per giungere al *muro*, di scoprire successivamente la baritina, la fluorina, il quarzo, lo spato calcareo. Furono segnalati de' filoni aventi fin 7 od 8 *binari*, cioè fin 14 e 16 zone matrici, corrispondentisi due a due per natura mineralogica, per colore, per spessore, a partire dal centro verso i lati. I filoni così composti chiamansi *fetucciati* (rubanés).

604. Ad illustrare con un esempio quanto ho esposto, piglio dall' opera di Bischof (*Lehrb., d. chem. u. physik., Géol.*, III, pag. 653, fig. 19) la seguente figura, che

Fig. 32. — Filone fetucciato.

a-Blenda
b-Quarzo
c-Spato fluore
d-Venuzza di blenda segnata da punti e cristallini isolati
e-Baritina
f-Filoncello di pirite radiata
g-Baritina come *e*
h-Spato fluoro come *c*
i-Pirite radiata come *f*
k-Spato calcare bianco
l-Spato calcare rosso-giallicio, con piccole druse nel mezzo

rappresenta, grande al vero, uno dei più bei saggi di filone fetucciato, o a zone binate, che è inoltre di composizione assai varia. Il filone riempie una spaccatura del gneiss, e benchè l'autore nol dica, credo di rilevare dal contesto, che appartiene al distretto di Freiberg, classico appunto per la regolarità dei filoni fetucciati.

605. Bisogna anche notare, come in questi filoni simmetrici, le matrici non si corrispondono soltanto numericamente, formando altrettali binari; ma si corrispondono anche per lo spessore, avendo ciascuna zona a destra approssimativamente, lo spessore della zona corrispondente a sinistra. Se quindi il filone è regolare, se, cioè, il *tetto* e il *muro* sono paralleli, le due zone matrici più interne potranno justaporsi, riempiendo interamente l' originaria spaccatura del terreno, ovvero lascieranno nel mezzo una zona di discontinuità. Se invece il filone è irregolare, se cioè il *muro* o il *tetto* sono dissimetricamente sinuosi; le matrici, conservando ovunque lo stesso spessore, e aderendo sempre alle pareti, non potranno riempire il filone che dove è più stretto, lasciando invece dei vacui nel mezzo, dove il filone si allarga. Ad ogni modo sulla linea mediana dei filoni fetucciati si incontra la regione delle *geodi*, delle *druse*, dei *forni*, delle *tasche*, di quelle cavità tappezzate di cristalli, che sono così ghiotta cosa pel mineralogista.

606. La composizione dei filoni metalliferi è spesso complicatissima. Nei filoni del Freiberg si trovano insieme associate, salve le specialità delle diverse categorie di filoni, le matrici di quarzo, di spato calcareo, di spato fluore, di baritina e i minerali di galena argentifera, blenda, arseniato di ferro, ferro oligisto, pirite di ferro, pirite cuprea, rame grigio, argento antimoniato, argento rosso, argento nativo, antimonio solforato, manganese carbonato, ecc..., da otto a undici minerali nello stesso filone! La porzione maggiore dei filoni è rappresentata dalle matrici: le parti metalliche ne rappresentano, salvo il caso di certi ammassi eccezionali di poca durata, la quantità minore, non figurando anzi nel filone che come vene, o nodi del filone stesso.

607. La credenza volgare è che i filoni presentino qualche cosa di ben bizzarro, di ben irregolare nel loro andamento. Essi invece seguono ordinariamente un andamento lineare, conservano per lunghissimi tratti l'uguale direzione, la uguale inclinazione. Non è quindi difficile che un filone qua o là affiori alla superficie; o che dall'affioramento si possa conchiudere al suo andamento nell'interno. Il celebre filone di Andreasberg nell'Harz è scavato su 460 metri di lunghezza, e fino a 182 metri di profondità, conservando sempre lo spessore di 1 metro.

Come ci accorgeremo dell' affioramento di un filone? Può darsi il caso, anzi si dà frequentemente pei filoni rocciosi, che il filone stesso sia più molle, più erodibile della roccia che lo incassa. Allora una depressione, un solco lineare, ingombro, già s'intende, di terriccio, di detrito, lo indicheranno. È così che si rivelano in molti casi i filoni (meglio diremmo i dicchi) di porfido amfibolico nel calcare, nei dintorni di Gandino, e altrove. Ma, trattandosi di veri filoni metallici, con matrici cristalline, sarà più facile il caso, che il filone presenti un positivo affioramento; sporga, cioè, dalle rocce più erose, in cui si trova incassato. È così che il rame nativo, dendriforme, dell' America meridionale, affiora, mi si disse, dal suolo, in forma di vaghi cespugli. Burat descrive, come classico, l'affioramento dei filoni di ferro spatico e di baritina, nell' Algeria. Due ne descrive, che, dalle rocce marnose in continuo sfacelo, emergono a guisa di due muraglie, alte da quattro a cinque metri, che corrono parallele attraverso montagne, burroni, boschi, e lande. Qui abbiamo un bellissimo caso di *parallelismo* che è una caratteristica molto frequente dei gruppi di filoni. Moltissime volte, infatti, nelle zone, nei distretti metalliferi, i filoni, d'identica o di diversa

natura, si presentano in fasci paralleli, quasi strati sovrapposti. Burat cita in proposito il fascio di Holzappel, nel Nassau, dove un filone, composto di due zone di blenda laterali ad una zona quarzosa, è fiancheggiato, a certa distanza, da un filone di blenda *a tetto*, e da un filone di galena *a muro*. I tre corrono paralleli, e furono già inseguiti e scavati sopra una linea di oltre 20 chilometri (Burat, *Géol. appl.* I, pag. 304, fig. 36). Ma del parallelismo dei filoni diremo più tardi a miglior uopo.

608. Non bisogna però nemmeno esagerare l'idea della regolarità. Pur troppo, come avverte Burat, i filoni sono soggetti a mille accidenti. Si gonfiano, si assottigliano, o son anche momentaneamente soppressi dalle più anguste strozzature; spesso si inflettono, si incrociano. Aggiungi i disturbi avvenuti, posteriormente alla formazione del filone, specialmente i *salti*, che mettono sì spesso e sì fieramente alla prova i più esperimentati ingegneri.

Per dar ragione di tale irregolarità, bisogna principalmente, osserva Burat, partire dal fatto che i filoni non sono che riempimenti, saldature, dei terreni spezzati. Una roccia dura, omogenea, darà delle crepature decise, regolari, che si trasformeranno in decisi, regolari filoni. Una roccia schistosa, una roccia molto friabile, si lascierà più presto contorcere che spezzare, e, in luogo di una spezzatura netta, arrischieremo di avere una massa fratturata, una rete di piccole, ma innumerevoli spezzature. I *filoni a vene reticulate* sono conosciutissimi.

609. Pigliando ora a trattare la questione d'origine per riguardo ai filoni, mi parrebbe tempo buttato quello che impiegassi nel dimostrare, che il riempimento di quelle spaccature della crosta terrestre, in quanto costituisce il vero filone cristallino, metallifero, è un prodotto endogeno. Un riempimento che originasse dall'esterno, o introdotto meccanicamente per effetto della gravità, o per virtù delle acque, o deposto da acque minerali, presenterebbe sempre quei caratteri, che distinguono in genere i depositi sedimentari. Molte fessure dei terreni, aprentisi all'esterno, mostransi così riempite di conglomorati, di breccie, di argille, di sabbie; ma nessuno vorrà confonderle coi filoni. Del resto Burat ha dettato un intero capitolo della sua opera, per dimostrare, come non vi ha esempio che un vero filone, regolare o irregolare, si perda colla profondità. I pretesi esaurimenti dei filoni si risolvono in abbandoni talora forzati, talora troppo precipitosi da parte di intraprenditori, scoraggiati o dall'impoverimento del filone, o dall'averne accidentalmente smarrite le tracce, o vinti dalle difficoltà che si accrescono sempre in ragione della profondità. Del resto il complesso dei fatti ci obbliga a credere che i filoni, come originati dalle viscere del globo, così vi abbiano radici a profondità indefinite. È bensì vero che talora la natura del filone si modifica talmente colla profondità, che esse modificazioni equivalgono, per l'industria, ad uno smarrimento. Ma questo fatto ci darà argomenti di importanti riflessi più tardi. Ora domandiamo invece come dall'interno venne quello strano riempimento?

610. La forma cristallina del filone, o il fatto che riempie una spaccatura, ci danno ragione a presupporre, che esso filone siasi formato o per sublimazione, o per infiltrazione, o pel semplice passaggio di liquidi cristallizzabili. In un modo o nell'altro la struttura a zone binate è una necessaria conseguenza del modo di formazione: in un modo o nell'altro la cavità dovrà riempirsi per via di successivi interni rivestimenti. Gli alabastri, o meglio ancora le agate fetucciate, presentano in piccolo ciò che in grande offre un filone. Anche le agate assumono spesso il carattere di una geode, lasciando vuota e tappezzata di cristalli la parte centrale. Daubisson descrive i filoni del Freiberg cogli stessi termini che si potrebbero impiega.o per descrivere un'agata, o una geode di quarzo o di spato calcareo. « Quando, egli dice, le so-

stanze hanno mostrato una grande tendenza a disporsi in cristalli, o perfetti o imperfetti (quarzo jalino, quarzo ametistino, spato calcareo, ecc.), si osserva che la punta dei cristalli piramidali è sempre rivolta verso l'interno del filone, tenendosi il cristallo perpendicolare alle salbande. Ciascun strato riceve per conseguenza, sulla faccia rivolta alla salbanda, l'impronta dei cristalli dello stato adjacente, mentre i cristalli che porta egli stesso sull'altra faccia, sembrano infiggersi nello strato susseguente. Finalmente i due strati più interni si presentano a vicenda le loro punte, finchè i cristalli, ingranandosi, finiscono col riempiere interamente il filone (citato da Burat, *Géol. appl.*, I, pag. 297). »

611. Rimane ora a sapersi da quali agenti, e in quali condizioni, si operò il riempimento dei filoni. Osservando dapprima i fenomeni nel loro complesso, noi troviamo come le secondarie manifestazioni dell'attività vulcanica si risolvano nella comparsa di molti agenti interni, capaci di creare, o per incrostazione, o per sublimazione, dei depositi, e di rivestirne le cavità, per cui hanno trovata aperta la via dall'interno all'esterno. I fumajoli vulcanici, i soffioni, lo stufe, e tutta la famiglia delle emanazioni gazose o vaporose, offrono delle sostanze fisse, volatilizzate, che possono deporsi, incrostando di minerali, amorfi o cristallizzati i corpi che incontrano. I crateri dei vulcani nei periodi di tranquillità, e le solfatare, sono teatri, ove attualmente si esercitano in palese quegli agenti stessi che, nel segreto delle viscere terrestri, preparano i filoni. Aggiungi le sorgenti termo-minerali, per cui l'attività più feconda, più multiforme, serpeggia nelle più superficiali, come nelle più profonde regioni del globo, diramando gli effetti del vulcanismo nei luoghi più discosti dai vulcani. Ecco gli agenti, dai quali può, in massa, ripetersi il riempimento dei filoni.

612. Filoni, in attualità di formazione, sono, infatti, le bocche delle stufe e i profondi pozzi de'geyser, incrostati di selce; le crepature vulcaniche, ove i fumajuoli sublimano lo solfo, l'oligisto, e cento minerali vulcanici; i condotti artificiali delle acque termali, non altro che prolungamenti dei naturali, incrostati ed ostrutti da tante miscele calcaree. Se vuolsi qualche cosa di più parlante, citerò il filone di manganese, osservato da Virlet a Soligny. Quel filone è così moderno, che i vapori manganesiferi si spinsero attraverso il terreno alluvionale della superficie. I ciottoli, che lo compongono, ebbero soltanto la loro faccia inferiore, quella che era rivolta verso le emanazioni, incrostata d'una fulligine di manganese (Lecoq, *Les eaux minér.*, pag. 405).

613. Quanto alla formazione dei filoni, per l'azione immediata delle sorgenti, sono molto pratiche le osservazioni del signor François sulle sorgenti minerali di Malou (Hérault). Sono 25 sorgenti ferruginose, a bicarbonato di soda, con acido carbonico in eccesso. Sgorgano, per lo più, sui limiti tra le marne iridate e gli schisti talcosi siluriani, da filoni di quarzo ferruginosi, con nidi, venule e mosche di galena, di rame grigio, di rame carbonato e silicato, di pirite, di ferro arsenicale. Alcune di esse sorgenti, rincorse nel loro sotterraneo cammino, palesarono un lavoro di tutta attualità. Gli schisti, corrosi ed esportati, avevano dato luogo ad una serie di cavità, disposte a rosario, ove si erano formati, ed evidentemente si andavano formando, ammassi cristallini di barite solfata, di quarzo cristallizzato od amorfo, di pirite di ferro e di mosche di rame (Lecoq, *Les eaux minér.*, pag. 416).

614. I fenomeni fin qui citati entrano quasi assolutamente nei domini della *dinamica terrestre*. Sono fenomeni di tutta attualità. Ma possiamo, con facile applicazione, renderci ragione dei fenomeni dello stesso ordine, che si operarono nel corso delle epoche geologiche, e possediamo, già la chiave per interpretare quell' intreccio meraviglioso di filoni e di vene, d'ogni terreno, in cui è affermata l'esistenza e la laboriosa

opera degli agenti secondari della vulcanicità in tutta la serie dei tempi. Infatti abbiamo già discorso di quella *attività perimetrica*, per cui un vulcano, moderno o antico, rappresentato da una massa eruttiva qualunque, figura come un centro, da cui s'irradiavano delle forze atte a modificare e a produrre. Noi abbiamo anche indicato il complesso delle manifestazioni dell' *attività perimetrica* col nome di *metamorfismo perimetrico* (§ 65), nel quale abbiamo già riconosciuto una caratteristica, per assicurarci dell'origine vulcanica delle diverse rocce cristalline. Abbiamo anche veduto come l'*attività perimetrica* si manifesti a distanze indefinite dal centro vulcanico, avendo operato specialmente per via di fessure, che il focolare vulcanico mettevano in immediata communicazione con luoghi posti a grandi distanze. Gli effetti dell' *attività perimetrica* saranno naturalmente più concentrati, più distinti e multiformi nelle vicinanze del vulcano, mentre a maggiori distanze saranno più semplici e più uniformi. Tutti i distretti eruttivi di fatto sono, come abbiamo già accennato, distinti per l'abbondanza, come per la varietà de' filoni. I seguenti esempi valgano in prova dei diversi asserti.

615. L'ossido di stagno è il minerale più caratteristico degli antichissimi graniti. Minerali eminentemente granitici sono gli ossidi di stagno di Cornovaglia, di Sassonia, del Limousin (Francia), della New-Jersey (America). I graniti delle Alpi contengono invece il molibdene solforato e l'ossido di titanio. Le matrici caratteristiche constano di quarzo o di spato fluore.

616. I porfidi, i serpentini, i basalti, le rocce trappiche in genere sono rocce metallifere per eccellenza. I giacimenti auriferi d'Ungheria sono subordinati ai porfiri terziari. Il rame di Toscana si associa a serpentine posteriori alle calcaree cretacee superiori. In Sassonia e in Boemia i filoni sono dell'epoca secondaria, e alcuni attraversano i basalti, ritenuti terziari, e ne sono, a volta a volta, attraversati. Furono i basalti, d'epoca terziaria, che nell'Alvernia diedero origine ai filoni di pirite e jamesonite argentifere e aurifere.

617. I filoni di galena e blenda nel Cumberland e nel Derbyshire appartengono alla parte inferiore del terreno carbonifero, e sono dipendenti dai trapp, che traforano quel terreno.

618. Il celebre oligisto di Rio, nell'isola d'Elba, dipende dai serpentini, e riempie di geodi cristalline le fessure e i vani delle rocce stratificate, che incassano i serpentini.

619. Nell'Harz i filoni sono concentrati entro certi *campi di frattura*, in immediato rapporto coi Grünstein. A Andreasberg talvolta attraversano i Grünstein, talvolta ne sono attraversati.

Nell'Erzgebirge i filoni sono legati ai porfidi. Gli uni e gli altri segnano una cronologia che, dai primordi della creta, giunge ai basalti del terziario superiore. Nella Cornovaglia i filoni di stagno e di rame sono dipendenti dai porfidi. Nei Vosgi i filoni di olgisto, di ferro spatico, di ossido di manganese, di galena, di pirite cuprea, di mercurio, sono vincolati ai porfidi e ai trapp, sviluppatissimi in quella contrada.

620. La *catena* detta *metallifera* della Toscana è costituita da una serie di eminenze serpentinose, a cui sono subordinate le rocce sedimentari, spesso metamorfizzate in *gabbro*, e si spinge da Savona al Monte-Argentaro, passando per Genova, Modena, Lucca, ecc. I gabbri verdi e rossi costituiscono come il medio tra le serpentine e le rocce sedimentari, e sono ritenuti da Burat prodotti da metamorfismo di contatto. È principalmente nei gabbri che si osserva il notissimo sviluppo dell'oligisto, del ferro ossidato, della pirite cuprea, ecc., che meritarono a quella catena l'epiteto di metallifera.

621. I celebri giacimenti cuprei di Santiago di Cuba sono in condizioni quasi identiche a quelli di Toscana, appartenendo alla zona di contatto dei gabbri e degli schisti argillosi, steatitici, che stanno tra le rocce sedimentari e le masse di serpentino e di Grünstein. I non men ricchi giacimenti di rame di Kewena-Point (Canadà) presentano dei filoni e degli ammassi, che si insinuano nei trapp, i quali appajono in forma di dicchi poderosi negli strati sedimentari.

622. I giacimenti cupriferi di Dillenburg sono essi pure in rapporto coi trapp. Nell'Altai le vene argentifere sono incassate nei porfidi quarziferi. Il rame degli Urali nei porfiri dioritici; e il platino delle alluvioni si vuol ripetere dalle rocce serpentinose.

623. Il distretto porfirico del Lago di Lugano è anche un distretto metallifero, noto da lungo tempo per l'abbondanza delle galene argentifere, di cui si va ora in molti punti attivando lo scavo. Quei filoni o si trovano negli stessi porfidi, o nelle rocce che immediatamente ne dipendono. A Besano, per esempio, le stesse salbande dei filoni sono costituite da una breccia di porfido euritico, cementata dalla fluerina, che vi forma delle druse di cristalli cubici, e da altre sostanze cristalline, tra le quali primeggia la baritina, fino a divenire talora prevalente.

624. Gli esempi qui citati alla rinfusa non fanno che ribadire, in modo speciale pei filoni metalliferi, ciò che abbiamo già dimostrato per gli ammassi di minerali in genere. Dipendere essi cioè dalle rocce eruttive, in guisa che quasi potrebbero essere considerati come antichi fumajoli, incrostati per virtù delle vulcaniche emanazioni gazose o vaporose. Ma l'attività perimetrica si manifesta anche a grandi distanze dai vulcani, per cui in tutti i distretti metalliferi noi vediamo la rete dei filoni invadere vastissime aree sedimentari, staccandosi dal centro eruttivo. Quasi invariabilmente però anche i filoni, che errano più lontani, si veggono coordinati ad una massa eruttiva, la quale occupa il centro, come dissi, di un'area, talora vastissima, segnalata come ricca di filoni metalliferi.

625. Burat riassume il capitolo, consacrato alle relazioni tra i filoni e le rocce eruttive, coi seguenti periodi, i quali esprimono nettamente i fatti fondamentali sui quali riposa la teorica dei filoni metalliferi. Spicca principalmente quello universalissimo della loro dipendenza dalle rocce eruttive, da cui si desume la loro origine endogene, principalmante dovuta alle emanazioni vaporose, che, partendo dalle ime profondità delle caldaje vulcaniche, venivano a sublimarsi nell'infinita reto dei condotti aperti dall'interno all'esterno nei punti ove le convulsioni dell'involucro terrestre si facevano più violenti. Mentre per le fauci più ampie, delle aperte voragini venivano eruttati i magma pastosi, ammaniti dalle acque dagli interni calori, le minori aperture, diramantisi dalle grandi, rimanevano libere ai vapori, ai gas, ai solidi volatilizzati, che venivano riempiendo, come gli attuali fumajoli, di sublimazioni e di prodotti metamorfici, prima gli stessi magma eruttati, poi le rocce a immediato contatto, e successivamente le rocce più lontane.

« Così le osservazioni, di cui i distretti metalliferi della Germania furono il punto di partenza, si estendono successivamente a tutte le parti del globo. Ai porfidi metalliferi dell'Erzgebirge e ai Grünstein dell'Harz vennero ad aggiungersi i porfidi di Cornovaglia, dei Vosgi, della Foresta Nera; i trapp del Palatinato, del Nassau, di Santingo, di Cuba, delle sponde del Lago Superiore; i serpentini della Toscana, dell'Isola d'Elba, della Slesia, ecc.; le dioriti, i Grünstein, le euriti dell'Altai e degli Urali.

« In tutte le località indicate si riconobbero mano mano le identiche relazioni tra

i minerali e le rocce cristalline. Talora i minerali sono, come parti costituenti, disseminati nella roccia eruttiva; talora formano invece ammassi subordinati, contemporanei alla roccia stessa; talora finalmente sono concentrati nelle rocce a contatto: più sovente però sono condensati entro filoni, che solcano i campi di frattura laterali. Ovunque uno studio accurato ha messo in evidenza, dapprima il parallelismo, che esiste tra la produzione dei minerali o i fenomeni delle eruzioni, poi l'influenza, che questi fenomeni esercitarono sul riempimento dei filoni. » (Burat, *Géol. prat.*, I, pag. 497)

626. Ma non possiamo tenerci paghi d'aver riconosciuto in genere gl'intimi rapporti dei filoni colle rocce eruttive; quand'anche ciò ci bastasse per ammettere, rappresentare i filoni altrettante manifestazioni secondarie dell'attività degli antichi vulcani. Quali sono più specialmente gli agenti interessati a radunare tanti tesori entro le spaccature della crosta terrestre? e quali sono i processi da loro seguiti?

L'osservazione e l'esperienza ci hanno già insegnato assai, intorno alla natura degli agenti, e al loro modo di procedere nella formazione de'minerali. Richiamo in proposito quanto abbiamo già appreso dagli studî sperimentali sulla *sintesi* dei minerali (§ 196 al 205). Quelle esperienze c'insegnarono, che pochissimo si ottenne per via secca: che invece, introducendo l'acqua, allo stato liquido o di vapore, associandola ai diversi elementi tellurici, ed obbligandola ad agire ad alta temperatura e sotto corrispondenti pressioni, non v'ha quasi prodotto del regno minerale, che non si cambî in un prodotto della nostra industria. Abbiamo anche veduto come sia tale la compagine del globo nella sua costituzione, da presentare necessariamente, e copiosamente, quei diversi apparati, per produrre il contatto capillare dei liquidi, per determinare l'incontro di vapori di natura diversa, più ancora per promovere l'azione solvente dell'acqua, in ambienti chiusi, a temperature elevate: in fine, per presentare, già in azione, a vasta scala, quegli apparati, coi quali Durocher, Bequerel, Frémy, Sénarmont, ecc., ottennero ormai la riproduzione di tutti quei minerali, di cui ora cerchiamo appunto l'origine, cioè dei minerali costituenti i filoni. Ancora una volta risulta evidente, essere l'acqua il primo e il più universale agente dell'attività vulcanica, tanto nelle primarie come nelle secondarie manifestazioni.

627. Anche l'osservazione s'unisce all'esperienza nell'affermare questo vero fondamentale per la geologia endografica. Tutti gli elementi tellurici sono interessati all'intrattenimento della vita di quel gran corpo, di cui costituiscono le membra: ma tutti questi elementi operano, si può dire, invariabilmente, per l'acqua od in concorso coll'acqua. Tutte le sostanze infatti che ci si presentano all'osservazione, o sono disciolte nell'acqua, o si svolgono dall'acqua.

Le emanazioni gazose ci danno sicuramente una grande idea di quella attività interna che ricerca, per così dire, tutte ad una ad una le fibre del globo: noi siamo quindi disposti ad attribuire ad esse una gran parte nella produzione di quelle sostanze, le quali vengono a deporsi entro i meati stessi, per cui dall'interno sfuggono i gaz. Ma, ben riflettendo, le stesse emanazioni gazose non sono che il risultato parziale di un processo molto complicato, ove l'acqua rappresenta sempre la parte di generatore. I gaz, che emanano spontaneamente dal suolo, sono i più semplici; sono quelli che noi troviamo più communemente associati alle acque, da cui si svolgono, sotto la libera atmosfera, quasi gente lasciata libera, dopo eseguito il cómpito suo. Le emanazioni gazose ci rappresentano i gaz svolgentisi da un bagno, ove si operano dai chimici tante combinazioni di elementi; e si svolgono appunto mentre tanti solidi composti si precipitano, o si sublimano, imitando il processo con cui la natura opera il riempimento dei filoni.

Digitized by Google

628. Ragionammo finora in via di semplice induzione, anzi in via di similitudine, volendo esprimere semplicemente il concetto che i minerali sono elaborati, deposti, dalle acque o dai vapori acquei, agenti e circolanti nell'interno del globo, ad elevata temperatura, ed in concorso di tutti gli elementi tellurici, e principalmente degli elementi più communi, più attivi, più compromessi nell'andamento della vita tellurica del pari che della vita organica, dei principali costituenti i regni inorganico ed organico, componenti l'acqua, l'aria, ed i tessuti vegetali ed animali: l'ossigene, l'azoto, l'idrogene, il carbonico.

L'ossigene e l'azoto, componenti la miscela aerea, sciolti sempre in gran copia nelle acque, vi si trovano talvolta in eccesso, svolgendosi dalle sorgenti, per esempio da quella di Vilbad nel Vürtemberg (Lecoq, *Les eaux minerales*, pag. 48). Si svolgono poi invariabilmente dai fumajuoli vulcanici, di qualunque categoria, secondo le belle osservazioni del Silvestri *Sui fenomeni vulcanici presentati dall'Etna* nel 1863-66 (*Atti Acad. Gioenia*, 1867). L'azoto solo si svolge frequentissimamente dalle sorgenti minerali, come ancora lo attesta Lecoq, e dalle salse, come verificossi per quelle di Turbaco (*Parte prima*, § 928).

L'idrogene libero pare che si svolga ben di rado dalle sorgenti. La sua presenza però verificossi nei soffioni boraciferi della Toscana (Meneghini, *Sulla produzione dell'acido borico*, 1867). Nello stato di combinazione col carbonio o collo zolfo, in forma cioè di gaz idrogene carburato, o di gaz solfidrico, costituisce invece una delle più volgari manifestazioni dell'attività vulcanica (*Parte prima*, Cap. XXII), e si sviluppa da innumerevoli sorgenti. Quanto al carbonio, che troviamo combinato coll'idrogene, appare così sovente in combinazione coll'ossigine, cioè in forma di gaz acido carbonico, che si può dire il protagonista delle emanazioni e delle sorgenti gazoze.

629. Ho distinto finora le emanazioni gazose dalle sorgenti; ma io credo che tale distinzione non regga, se non in quanto i fenomeni si presentano alla superficie del globo. Io credo cioè che i gaz, cui noi vediamo dar luogo ai fenomeni isolati delle fontane ardenti, delle mofette, delle emanazioni solfidriche, sono ancora i gaz, che si svolgono dalle sorgenti, le quali non hanno compito il loro giro di circolazione sotterra. Tale svolgimento ha luogo soltanto perchè la via di circolazione delle sorgenti è in comunicazione coll'esterno, per mezzo di fessure, le quali, aprendo una libera communicazione coll'atmosfera, permettono che i gaz si svolgano, prima che la sorgente trovi la via di uscire, e di riversarsi all'aria aperta. Io non credo che il gaz infiammabile, il quale alimenta da secoli i celebri fuochi di Pietramala e di Barigazzo, abbia un'origine diversa da quello che ribolle dalle salse di Nerano e di Montegibbio, o si svolge dalle acque di Salsomaggiore, e da tanti pozzi a petrolio nelle provincie dell'Emilia. È sempro lo stesso gaz, che circola colle acque, e libero si svolge, appena nel suo giro di circolazione l'acqua incontri una fessura, aperta naturalmente od artificialmente. La cosa si mostra evidente alla Porretta, località celebre, tanto pe' suoi *vulcanetti* (emanazioni di gaz infiammabile), quanto per le sue sorgenti minerali da cui si svolge copioso il gaz idrogene carburato. Le sorgenti sgorgano copioso dal piede di una rupe, di cui i vulcanetti coronano la cima. L'ispezione dei luoghi lascia la più ferma convinzione, che il gaz idrogene carburato si svolga dalle sorgenti, alle radici del Sasso Cardo, ed esca alla cima di esso, precisamente come il fumo esce sul tetto dal fumajuolo d'un camino. Finchè l'acqua circola nell'interno del globo, como entro le spire di un *serpentino*, nessuno de' suoi poderosi ausiliari le può sfuggire, e non v'ha prodotto minerale di cui in questo stato,

Digitized by Google

come ce ne assicura l'esperienza, non possa essere feconda. Siccome poi la stessa esperienza riuscì a prepararci quasi tutti i minerali dei filoni, coll'impiego dell'acqua ad alta temperatura, e mescolata a sostanze diverse; così è logico il conchiudere, che dall'acqua, agente nelle stesse condizioni in natura, si deve ripetere il riempimento dei filoni.

630. Io non penso però che la formazione dei filoni si debba attribuire in tutti i casi all'azione immediata delle sorgenti, considerando i minerali quasi altrettanti sedimenti. Noi vediamo, è vero, come le sorgenti calcaree incrostino i tubi, per cui vengono condotte, fino ad ostruirli interamente; e questo è il caso di una vera sedimentazione idro-termale. Ma quanto ai minerali che riempiono i filoni, io inclino più presto ad attribuirne l'origine ai vapori acquei, tenenti in soluzioni le sostanze che si fissano. La verticalità dei filoni, che hanno forma di camini piuttosto che di condotti; la bella cristallizzazione de'minerali; la perfetta libertà de'cristalli nelle cavità drusiche; la finezza estrema di certe vene; il nessun indizio di azione meccanica; tutto in fine pare attesti piuttosto il passaggio di vapori acquei, che d'acqua. Parmi anche che appena l'acqua, ad alta temperatura nelle grandi profondità terrestri, incontri uno di quei crepacci, che possono metterla in immediata communicazione coll'atmosfera, debba risolversi in vapori che si leveranno dal crepaccio, come dal tubo d'una caldaja a vapore. Le stufe ed i soffioni boraciferi della Toscana ci presentano il fenomeno in atto: ma io penso che, se noi potessimo tener dietro a molte sorgenti nelle profondità terrestri, troveremmo che molte delle nostre sorgenti fredde divengono termali, e le sorgenti termali divengono soffioni e stufe.

631. Ma l'acqua svaporando non depone i minerali in guisa che i vapori ne rimangano spogli? Noi otteniamo in fatti una quantità di prodotti solidi, come il sale, lo zucchero, facendo svaporare l'acqua, che tiene in soluzione quelle sostanze. È noto però come le acque evaporate sotto la libera atmosfera traggono seco una piccola parte delle sostanze fisse. La stessa acqua marina, evaporata dal sole, porta seco nelle nubi particelle di sal marino, tanto che le piogge e le grandini ne rivelano la presenza all'analisi (Lecoq, *Op. cit.* pag. 165). Del resto è noto ai chimici, come anche le sostanze più fisse possono essere rapite dai vapori, principalmente operando a temperatura molto elevata. Potrei citare diverse esperienze in proposito; ma la natura stessa risponde ad ogni difficoltà, colle stufe che incrostano di selce le fessure vaporifere (*Parte prima*, § 676), e più ancora coi soffioni boraciferi, che si direbbero filoni ancora allo stato vaporoso.

632. Io credo in fatti che i *soffioni boraciferi della Toscana* costituiscano la manifestazione più brillante, più completa, che direbbesi ordinata dalla natura, per darci un saggio del modo con cui lavorò in tutti i tempi a secernere ed a deporre nelle fessure del globo tante sostanze, che l'uomo avrebbe meritatamente chiamato tesori. Non credo quindi inopportuno aggiungere alle generalità già esposte a loro luogo (*Parte prima*, § 678), alcuni particolari, che interessano più davvicino l'argomento di cui ci occuppiamo, e cui non ho potuto nemmeno introdurre allora, in quanto che li attingo a una preziosa memoria del prof. Meneghini in argomento, che vide la luce dopo la pubblicazione della *Dinamica terrestre.*

633. La regione de'soffioni occupa un'area di 33 miglia quadrate nella parte montuosa della maremma toscana, tra l'alta valle di Cécina, e la valle della Cornía. I soffioni stessi s'incontrano sulla via da Volterra a Massa Marittima, distribuiti in gruppi da 16 a 40. Sulle eminenze e nelle valli, dalle rupi e dal piano, dal suolo asciutto e dai fossati, si sprigiona un vapore in colonne dense e cocenti. Dagli asciutti cre-

pacci prorompe quasi da caldaja e sibila, o sbuffa. La sua temperatura è di 120.° C., e la sua tensione di due o tre atmosfere. Tutti que' soffioni non rappresentano che altrettanti sfiatatoi, altrettante valvole di una stessa caldaja bollente nelle ime profondità, sotto un suolo che di continuo ne risente l'effetto. I soffioni in fatti si mutano continuamente; scompajono in un luogo, ricompajono in un altro, con traballamento del suolo e rombi sotterranei.

634. Ma quello che ora c'interessa di più è la complicatissima composizione, per cui li dissi rappresentare un filone allo stato vaporoso, ove potrebbe fissarsi, in condizioni opportune, una sì ricca miscela di sostanze, da emulare i filoni più complicati. Il signor Meneghini riporta le analisi eseguite dal Prof. Bechi, e che io credo opportuno di qui trascrivere, in prova di quanto ho or ora asserito.

I. In 100 parti di Gaz.

Gaz acido carbonico — CO^2	87, 7
» idrogeno solforato — H^2S	1, 3
» idrogeno libero — H.	2, 2
» idrogeno carburato — CH^4	2, 0
» azoto — N.	6, 8

II. In 5000 parti di materie fisse.

Acido borico	230
Materia organica	320
Solfato d'ammoniaca	1500
» di ferro e manganese	750
» di magnesia	1700
» di soda	500

635. Se tutta quelle sostanze fisse, la cui presenza risulta dall'analisi, possono deporsi in filoni, bisogna calcolare anche sulle reazioni che possono svilupparsi, al contatto di que' vapori colle diverse sostanze componenti il terreno, pel quale essi vapori trovano aperto il passaggio. Ecco un'altra sorgente di modificazioni, di creazione di minerali, i quali possono associarsi ai minerali originati immediatamente dalle sublimazioni vaporose. I soffioni boraciferi sono, anche sotto questo rapporto molti istruttivi.

636. I terreni attraversati da quei vapori boraciferi sono costituiti da calcari, da schisti argillosi, da arenarie. Offrono quindi, elementi di facile combinazione, il carbonato di calce, l'argilla ed il quarzo. Fra gli elementi che accompagnano i vapori noto principalmente lo solfo in molteplici combinazioni. Sanno i chimici con quanta facilità lo solfo si combini, e combinato si liberi per combinarsi di nuovo. Frutto primario di tali combinazioni è il solfato di calce, ossia il gesso, in cui facilmente si trasforma il calcare, sotto l'influsso del gaz idrogene solforato, presente ne' soffioni. Il gesso impregna ovunque le rocce in que' dintorni, isolandosi in ammassi ed in ventri gemmati. I solfati di allumina, di magnesia, di ferro, il solfuro di ferro, impregnano anch'essi le rocce come il gesso. Non manca il minio, cioè il solfuro di mercurio, a cui si associa talvolta il mercurio libero. Le interne cavità sono spesso converse in bellissime geodi cristalline di boussingaultite, ossia di solfato di ammoniaca, associato ai solfati di ferro, di magnesia e di soda. Già da molto tempo è note come l'acqua, ad elevata temperatura, e contenente della soda, sciolga facilmente la selce.

Non è quindi meraviglia, che in que' terreni abbondi la *calcedonia*, e che la selce, tolta al terreno calcare arenaceo, come rilevò Coquand a Monterotondo, disciolta dai soffioni, si deponga in forma di jalite.

637. L'*acido borico*, come incrosta gli artificiali condotti, così riveste i setterranei crepacci, le cavernosità, creando a poco a poco degli ammassi. Uno di questi, scoperto dalla sonda artesiana a circa 17 metri di profondità, aveva quasi 7 metri di spessore. Lo stesso acido borico poi, combinandosi cogli altri elementi, vi ha creato dei borati di ammoniaca, di ferro, di calce, di soda. Il fango dei lagoni non è che una miscela di questi elementi, nativi o metamorfici, consistenti in gesso, iposolfato, solfato e carbonato di ammoniaca, tritume di calcare argilloso, il tutto colorato dall'ossido di ferro.

638. I soffioni boraciferi non ci presentano che un sol caso di vapori acquei, ricchi di molte sostanze disciolte, il cui numero però è limitato. Ma se ci volgiamo al complesso delle sorgenti termo-minerali, le cui analisi ci sono conosciute, ci risulta questo gran fatto, che tutti i minerali (le eccezioni si devono piuttosto al difetto delle analisi che alla reale esclusione di alcuni minerali), quelli nominatamente che o liberi o combinati costituiscono i filoni, si trovano disciolti nelle acque in circolazione nel globo. Quando si dice che i minerali de' filoni si trovano tutti disciolti nelle acque circolanti, è come dire che tutti i filoni sono d'origine idro-termale, dovuti cioè all'azione dell'acqua o del vapore acqueo, sotto diverse temperature, in alleanza con diversi solventi, per cui divengono solubili anche i minerali più insolubili. L'esperienza poi, lo ripeto ancora una volta, dimostra la verità di questa proposizione; mentre si è veduto, che i minerali componenti i filoni, non si ottennero, salvo qualche eccezione, che per via umida.

639. La citata opera di Lecoq (*Les eaux minérales*) è veramente classica sotto questo rapporto, venendovi indicati, con opportune dilucidazioni, tutti i minerali che si trovano disciolti nelle sorgenti, o che presentano tali caratteri, da cui si desume che furono in origine disciolti nell'acqua. Eccovi una lista dei minerali della prima classe, cioè di quelli che si trovarono realmente disciolti nell'acqua.

Ammoniaca. — Si scoprì in molte sorgenti, e si scopre qualche volta nei filoni metalliferi.

Solfo. — Abbondantissimo nelle sorgenti: forma filoni a sè, e grandi depositi anche nelle rocce sedimentari, come vedremo, trattando a parte di un minerale così interessante.

Acido idroclorico. — È raro nelle acque minerali ordinarie, ma si associa in abbondanza ai vapori acquei nelle fumajole vulcaniche, ed alle acque che, come quella del Rio Vinagre, fanno immediatamente corteo ai vulcani. Le acque minerali communi contengono frequentemente i clorrri.

Iodio e *bromo.* — Esistono, benchè di rado, nelle sorgenti minerali, e si scoprono in certi filoni.

Fluore. — Si scopre nelle acque minerali. Il fluato di calce fu segnalato da Niklés in ventuno sorgenti minerali. Così spiegasi, ammettendo la reazione dei vapori fluoridrici sui terreni calcarei, l'abbondanza del fluato di calce, come una delle matrici più ordinarie dei filoni.

Fosforo. — Quasi tutte le acque minerali contengono fosfati.

Arsenico. — In piccola dose si contiene in un gran numero di sorgenti, per esempio della Francia centrale. La sorgente di Bou-Cater, nella Reggenza di Tunisi, contiene in un litro d'acqua 0, 1684 di arseniati di soda e di potassa.

Digitized by Google

Acido borico. — Oltre ai soffioni toscani, ne contengono le acque di Vichy, e certe sorgenti solforose de' Pirenei.

Selce. — Ci è noto come la selce è deposta in copia stragrande dalle stufe, dai geyser, dalle sorgenti bollenti d'Islanda, delle Azore, della Nuova Zelanda, ecc. Nei depositi silicei di San Mignel (Azore) scopronsi cavità tappezzate di quarzo. Le più varie tinte, il rosso, il bianco, il giallo, il purpureo, il bruno, dicono come attualmente si vadano producendo quelle varietà, che rendono così vaghe le selci sotto i nomi di cornaiole, di diaspri, di agate, ecc. Quanto alla potenza di tali depositi, accenneremo come nella regione dei geyser d' Islanda il *Sinter*, cioè la selce incrostante, si distenda sopra un' area di due leghe in lunghezza, e di un quarto di lega in largbezza. Nella Nuova Zelanda poi, stando alle descrizioni di Hochstetter, la selce deposta dalle sorgenti geiseriane presenta tutta l'imponenza d'una formazione geologica. Non solo le acque, ma anche le stufe, cioè i vapori erumpenti dal suolo, in Islanda, creano piccoli crateri in forma di piccole colline silicee. Sorgenti solforose nei Pirenei formano stalattiti silicee, contenenti cristalli di quarzo. Le scorie e le bombe de' vulcani dell' Alvernia si trovano coperte quasi da una rugiada di selce jalite, la quale, a non dubitarne, era prodotta da fumajole silicee.

Potassa. — La potassa è piuttosto scarsa nelle sorgenti. Sono però celebri le sorgenti nitrose della bassa Ungheria, le quali danno alimento a sessanta fabbriche di nitro (nitrato di potassa). La potassa figura pel 10 °/₀ nelle acque termali del lago Mono in California. Nelle acque minerali trovansi ordinariamente associati fra loro i cinque metalli alcalini: litio, sodio, potassio, rubidio, cesio.

Soda. — È assai commune nelle sorgenti minerali e abbondantissima nei geyser d' Islanda.

Carbonato di soda. — Si scopre in un gran numero di sorgenti, per esempio in quelle dell' Alvernia. Le acque di Vichy ne versano 3,075 chilogr. al giorno, cioè l' enorme massa di chilogr. 1,122,375 all' anno.

Solfato di soda. — Frequente ed in gran copia in molte sorgenti. Nella Spagna costituisce in più luoghi una vera roccia, formando ammassi lenticulari, dovuti certo a sorgenti minerali. Uno di tali ammassi presso Alcandra si segue per 4 chilometri.

Cloruro di sodio o *sal marino.* — Ne contengono in gran copia il mare e infinite sorgenti, e fin le acque pluviali.

Baritina o *solfato di barite.* — Questo minerale, uno dei più volgari costituenti delle matrici de' filoni, fu scoperto in parecchie sorgenti, per esempio in quelle di Durckheim e di Kreuzenach.

Carbonato di calce. — Il minerale delle sorgenti per eccellenza.

Arragonite. — Abbonda nei depositi delle sorgenti minerali dell 'Alvernia.

Carbonato di magnesia. — Communissimo nelle acque minerali.

Solfato di magnesia. — È il minerale per cui sono celebri le sorgenti di Pullna e di Sedlitz in Boemia, e si trova in mille sorgenti.

Carbonato di manganese. — Questo minerale, che si trova in filoni coi silicati e coi solfati di manganese, si scopre in molte sorgenti, per esempio a Carlsbad, Coconuco presso Popayan, Merliex presso Aix in Savoja.

Ossido di ferro. — Communissimo nelle acque sorgenti, ed in tutte le acque in genere.

Ferro solforato o *pirite marziale.* — Questo minerale, che è uno de' più inevitabili nei filoni d' ogni natura, si contiene nelle sorgenti, per esempio in quelle di Chande-Saignes, di Bourbon-Lancy, e di S. Néctaire.

Cobalto e nikel. — Furono scoperti nelle acque di Boulon.

Ossido d'antimonio, ecc. — Le acque minerali di Rippoldsan nell'Harz contengono, oltre l'ossido di ferro in gran copia, gli ossidi d'antimonio, di zinco, di arsenico, di rame, di piombo.

Ossido di stagno. — Questo minerale di stagno, l'unico che si scopra nei filoni, fu trovato da Berzelius nelle acque di Saidschutz in Boemia.

Titanio. — L'acido titanico fu scoperto col rubidio e col cesio nelle acque di Wildbad-Gastein.

Rame. — Fillhol lo scoperse in quattro sorgenti presso Oloron nelle basse Alpi, ed altri lo trovarono in quelle di Balaruc e della Malou. Il ramo ossidato si trova nelle acque di Boulou.

Argento. — Scoperto nelle acque del mare.

Oro. — Fu trovato da Laur nel deposito siliceo che si forma dalle sorgenti termali della valle di Steamboad, veri geyser, che erompono sul fianco orientale della Nevada (California) a 1560 metri sul livello del mare.

640. Alcuni minerali che, o non furono scoperti nelle sorgenti, o vi scarseggiano, mentre hanno pure una decisa importanza nei filoni e nelle formazioni analoghe, presentano però, como dissi, tali caratteri, che la loro formazione per via acquea può ritenersi un fatto. Potrei trattenermi lungamente a dimostrare come certe forme assunte, certe condizioni di giacimento, certi fenomeni di trasformazioni, di sostituzioni non possono spiegarsi altrimenti, che ammettendo la formazione dei minerali, che li presentano, per via umida. Vedrò tuttavia di essere breve, fidandomi dell'evidenza di certe apprezziazioni, e riserbandomi di ritornare sull'argomento in luogo più opportuno. Si ritengono come generati per via umida i minerali:

1.° *Se si scoprono in geodi, in druse, tappezzando delle cavità, che non si presentano in libera communicazione coll'esterno.* Non si saprebbe in fatti come un minerale possa introdursi o cristallizzarsi entro le bolle di una lava, o nelle camere ermeticamente chiuse di un cefalopodo, od in cavità, che esistono accidentalmente in seno ad una roccia compatta, se esso minerale non è disciolto in un liquido. La formazione delle stalattiti, di tanti minerali diversi, per semplice filtrazione delle acque pregne di essi minerali, nelle caverne, ci presenta il fenomeno in tutta la sua attualità. Siccome poi la maggior parte dei minerali, che tappezzano le druse e le geodi, si trovano disciolti nelle acque, si può ritenere per analogia che le geodi e le druse risultino sempre da filtrazioni acquee, e quindi che tutti i minerali, che si trovano in geodi o in druse, siano originati dall'acqua.

2.° *Se presentano una forma concrezionare.* La forma concrezionare è quella delle stalattiti, degli alabastri, delle pisoliti, delle ooliti, tutti prodotti eminentemente acquei.

3.° *Se hanno forma di veri strati sedimentari, o se sono intimamente associati a sedimenti.* La forma a strati è già consacrata come caratteristica d'un sedimento subacqueo. Quando poi un minerale entra a far parte d'un sedimento, o fu deposto con lui, o vi penetrò dopo; nè l'una nè l'altra cosa potrebbe spiegarsi senza l'intervento dell'acqua.

4.° *Se sono sostituiti per un processo elettro-chimico alle sostanze organiche.* Noi intendiamo che la sostituzione di un minerale alla sostanza organica sia avvenuta per una sostituzione elettro-chimica, quando è conservata la forma, anzi la tessitura dell'organismo, benchè sia avvenuta la completa o parziale conversione della sostanza organica. Abbiam veduto che i processi elettro-chimici si operano

appunto coll'acqua, che tenga in soluzione le diverse sostanze destinate a decomporsi, a sostituirsi.

5.° *Se un minerale cristallizzato si è sostituito ad un altro minerale, di cui ha assunto la forma cristallina.* Il fatto a cui qui si accenna si verifica molte e molte volte, e si indica col nome di pseudomorfosi. Le pseudomorfosi non sono che altrettanti casi di sostituzione e di conversione elettro-chimica, già implicitamente contemplati nel numero precedente.

641. Trattando del *metamorfismo normale*, ove vedremo l'azione metamorfica delle acque esercitarsi a grande scala nella sostituzione e nella conversione elettro-chimica del globo, appariranno ancor meglio dimostrati i punti da noi qui espressi quasi dogmaticamente. Vediamo intanto, ancora sulla scorta di Lecoq, una serie dei principali minerali costituenti i filoni, originati sicuramente dalle acque, come quelli cha presentano alcuna delle condizioni or ora contemplate.

Baritina. — Fu incontrata da E. Richard, associata alla galena, nèlle lumachelle silicee di Thoste (Côte-d'or). Gruner cita dei gusci di conchiglie, De la Noue belemniti, e Carlo D'Orbigny conchiglie e polipai, conversi in baritina. Conchiglie baritizzate si citano pure da Brard nel grés e nella argille presso Sarlat.

Arragonite. — Nell'Alvernia, ove l'arragonite si mesce abbondante alle sorgenti minerali, essa si mostra anche in geodi magnifiche ed in veri filoni, la cui immediata dipendenza dalle acque minerali, ancora in funzione, non può essere rivocata in dubbio. Le fessure del granito ne sono tappezzate o riempite, ed ossa cementa il pietrame, e forma bellissime druse nel travertino, e si è fin cristallizzata entro ossa d'epoca romana. Il colonnello Yorke la trovò formata artificialmente in una caldaja.

Ossidi di manganese. — Hanno forma di pisoliti a Ludwigsthal ed a Gy. Si trovano cristallizzati entro le camere degli ammoniti, e formano dendriti, e stalattiti. Il manganese emula il ferro nel coloramento delle rocce, delle argille, dei grés.

Oligisto. — Esiste in geodi e in rognoni. A Sémur si è sostituito alle conchiglie. Si trova associato ai calcari, ecc.

Ematite, Limonite. — L'ossido di ferro si mostra in mille casi in forma di concrezioni, di pisoliti, di stalattiti. Si è pur le mille volte sostituito alle conchiglie fossili. Si citano da Lecoq un pezzo di betula, e un affusto di cannone convertiti in perossido.

Ferro solforato o *pirite marziale.* — Abbonda nelle argille, nelle ligniti, ecc. Presenta druse e geodi. I casi di sostituzione ai corpi organici sono infiniti.

Cobalto e *nikel.* — Si trovano talora nei filoni allo stato concrezionare.

Zinco silicato e *zinco ossidato.* — La calamina de'filoni (zinco carbonato) e lo zinco silicato si trovano in arnioni, associati alle argille, ai calcari, alle ligniti, al carbon fossile. Si trovano in geodi e concrezioni nelle argille di Limbourg. Corna di cervo, e denti di elefante, completamente impregnati di calamina, si scopersero in una miniera. Si rinvennero geodi di calamina nelle miniere di Udias (Spagna), e altrove ooliti, a strati concentrici, varianti natura, comparendo altre in forma di carbonato idrato ed altre in forma di silicato idrato.

Antimonio solforato. — La matrice de' filoni di Pereta in Toscana contiene del quarzo calcedonioso. L'antimonio solforato vi occupa delle tasche, ossia de'nidi, che ne contengono fin 40,000 chilogr.; od è cristallizzato in geodi del diametro fin di 3 metri.

Ossido di stagno. — Nelle miniere di Cornovaglia l'ossido di stagno, misto al

Digitized by Google

quarzo, si è sostituito, per pseudomorfosi, ai cristalli di feldspato. Molti di questi cristalli, rimasti spezzati, furono cementati dall' ossido di stagno in minuti cristalli.

Titanio. — L'acido titanico entra nella composizione di certe argille.

Rame nativo. — Il celeberrimo rame nativo del Lago Superiore è associato ad una quantità di minerali idrati.

Malachite. — La forma ordinaria del carbonato di rame è la concrezionare. Le celebri malachiti degli Urali non sono che masse alabastroidi. A Mansfeld è concentrata sulle impronte copiose di pesci e di piante, a cui deve ritenersi sostituita.

Galena. — Le miniere di Alpujarres in Spagna non presentano filoni, ma un calcare quasi amigdaloide a nodi di galena. Druse di galena abbondano nella dolomia roseo-cristallina del Sasso Mattolino sopra Esino. Perl di Freiberg scoprì, sopra un pezzo di galena, l'impronta di una foglia. Ad Alston Moore la galena è cristallizzata entro le camere dei coralli carboniferi. La famosa miniera di galena a Potosì in America consiste in un ammasso di argilla ferruginosa, da cui si estraggono gli arnioni di galena, come le patate da un campo.

Bismuto nativo. — Fu incontrato da Daubrée nell'interno d'una geode di carbonato di calce.

Mercurio solforato. — Ad Idria si sostituisce alle conchiglie fossili, ed a Moschellandsberg si concentra attorno ai pesci fossili. Esiste in nidi e filoncelli nel calcare liasico di Combe-Guichard (Isère).

Oro. — Si trova in bei cristalli nelle druse e nelle geodi.

642. Dai fatti esposti deriva legittima la conseguenza; che l'acqua è l'agente universale, l'agente creatore, nelle composizioni, nelle conversioni, nelle sostituzioni: è il primario fattore dell'attività interna del globo, ove lavora assiduamente, sotto l'impulso del calore e dell'elettricità, sposandosi a tutti i tellurici elementi. Chi brama maggiore ricchezza di particolari, consulti l'opera di Bischof (*Lehrbuch d. Chem. Geologie*, vol. III. pag. 651 912), dove troverà un mondo di osservazioni, dalle quali risulta che tutti i minerali de' filoni, matrici e vene metalliche, si produssero per via umida. Io affretto invece il cammino, e passo a considerare alcuni fatti, che potrebbero sembrare obbiezioni e sono invece una conferma della teorica esposta circa la formazione dei filoni.

643. I pratici de' varî distretti metalliferi hanno talora de' principî molto singolari, o piuttosto si lasciano guidare da un empirismo, il quale a prima giunta non trova una ragione nella teorica de'filoni. Trattandosi di filoni, i quali attraversano una serie di terreni o di strati, è comunissimo il caso di trovarli a preferenza ricchi o sterili in questa, piuttosto che in quella formazione, in uno piuttosto che in un altro strato. Perchè ciò, se il filone è per l'origine sua affatto indipendente dalle rocce, le quali non fungono altro ufficio, che quello di ambiente? Che c'entra coll' abbondanza del prodotto la natura della storta? Nel Dillenburg (Nassau) il filone principale di pirite cuprea attraversa perpendicolarmente una serie potente di strati. Si nota tuttavia che non si arricchisce guari che nei punti ove attraversa lo *Schalstein* o il *Grünstein*, due rocce che presentano una frattura netta e decisa. Nelle altre rocce, schisti in gran parte, la frattura è mal sviluppata, e il filone è ripieno di sterile tritume delle rocce incassanti. Così deve avvenire ovunque siano associate rocce a frattura netta, a rocce, che, per la loro indole molle e flacida, rimangono come biascicate ne'salti. Le prime offriranno libero e diuturno campo alle sublimazioni; mentre le altre lo daranno angusto e presto ostrutto.

644. Ma un fenomeno, che non ha rapporto colla natura delle rocce incassanti, e

Digitized by Google

interessa veramente la genesi, e direbbesi l'economia de' filoni, si osserva in ciò che lo stesso filone, percorso nel senso della profondità, si muta talora, direbbesi, radicalmente. Come va, se è lo stesso filone e sono gli stessi agenti endogeni che l'hanno prodotto?

I fatti raccolti da Burat in proposito sono interessantissimi, perchè ci abilitano a stabilire de'principî generali. Un primo principio sarebbe quello dell'universalità del fatto annunciato, che, cioè, i *filoni si modificano colla profondità*. Un secondo principio potrebbe enunciarsi così: *i filoni di uguale natura presentano, in ragione della profondità, uguali modificazioni*. I filoni piombiferi che, nella regione superiore, contengono carbonato, fosfato, solfato, arseniato, cloruro di piombo, offrono poi, a certa profondità, come minerale normale la galena, ossia il solfuro di piombo. Negli stessi filoni, ove la galena delle regioni inferiori è così intimamente collegata coll' argento, l'argento stesso, nella regione superiore del carbonato, del fosfato, ecc., o si isola in argento nativo, dendritico, o si presenta allo stato di cloruro e di bromuro. Nei filoni di zinco le regioni superficiali sono occupate dal silicato, e costituiscono lo miniere di *calamina* (carbonato di zinco): le profondità invece sono tenute dalla *blenda* (solfuro di zinco). Nelle miniere di rame, il rame nativo, gli ossidi, gl' idrosilicati, gl' idrocarbonati, i fosfati, gli arseniati, i cloruri di rame, stanno nella regione superiore; mentre le piriti ed i solfuri di rame in genere, occupano l'inferiore.

645. Già s' intende che, non per salti, ma per miscele e gradazioni, si passa dalla regione superiore all'inferiore. Sono tipici, sotto questo rapporto, i filoni calaminiferi del Belgio e della Prussia Renana, citata dal Burat. Da 25 fino a 50 metri dalla superficie i filoni presentano gli ossidi di ferro ed i carbonati di zinco e di piombo: più sotto compajono i solfuri degli stessi metalli, cioè la pirite, la blenda, la galena.

646. Si nota come, col cambiarsi la natura de'minerali, si modifica anche la forma generale del filone. La disposizione per zone parallele, ed in genere la regolarità, sono caratteristiche della regione inferiore: mentre la superiore è, sotto questo rapporto, disordinatissima. Le accennate variazioni, cui presenta il confronto delle due regioni, sono così decise, così costanti nei distretti metalliferi, che il fatto può tradursi, come dissi, in un principio generale, e sarebbe questo: Nella regione superiore dei filoni si nota una maggiore irregolarità, o prevalgono gli ossidi, i carbonati, i silicati, gli arseniati, i cloruri, ecc.: nella regione inferiore invece si nota una grande regolarità, o prevalgono, anzi si rendono quasi esclusivi, i solfuri. — Alla zona superiore, o zona degli ossidi, si può attribuire una media di 50 metri e un maximum di 100. La zona inferiore ha uno spessore indefinito, non avendo presentato finora nuove alterazioni radicali, anche dove si spinse il traforo fino ad 800 metri. Si nota anche questa singolarità, che nelle profondità si presentano, a preferenza, i minerali cristallizzati, come il quarzo, le piriti, ecc.; mentre verso la superficie si offrono i minerali concrezionarî, come le calcedonie, le malachiti, l'arragonite, lo zinco concrezionale o stalattiti, ecc. La regione superiore adunque si distingue in genere per l' abbondanza dei minerali più idrati. Tutti questi fatti ci assicurano che vi ha certo un' influenza dell'ambiente. — Ma tale influenza deriva dall'interno o dall'esterno? Si esercitò sul filone già formato, o ne modificò, con azione concomitante, la formazione?

647. Fu accolta facilmente l'idea di riconoscere, nelle modificazioni della regione superiore, gli effetti di un'azione esterna e posteriore alla formazione de' filoni; e si ebbe specialmente ricorso all'influsso dell'atmosfera e delle acque d'infiltrazione. Ma quante volte le rocce dei filoni si presentano sanissime, inalterate presso la superficie? poi nel caso pratico ci troveremmo fortemente imbarazzati nello spiegare le singole

combinazioni, o quelle singolari miscele, come effetti degli agenti esterni. Burat, anche sull'autorità di E. de Beaumont, si pronuncia per un'azione concomitante la formazione de'filoni, ritenendo che le emanazioni gazose o vaporose si andavano modificando, mano mano che si allontanavano dal focolare generatore. Non si accinge però a rendere ragione dei singoli fenomeni.

648. Dei fatti molto analoghi si producono però attualmente, i quali varranno almeno a porci sulla via di scoprire le ragioni dei fenomeni descritti. Ho già accennato, per esempio (*Parte seconda*, § 838), come il ferro speculare trovisi ordinariamente negli strati superiori delle correnti di lava, dove si sublima, nulla rimanendone agl'inferiori. Ho pur detto che alcune correnti dell'Etna sono ricche, superiormente, di ferro speculare, e inferiormente, di ferro magnetico. Lo studio dei fumajoli vulcanici poi c'insegna come, data la presenza di certi elementi entro le lave, il prodotto delle emanazioni e delle sublimazioni varî, col variare della temperatura: come insomma le combinazioni chimiche si mutino, col mutarsi delle condizioni degli ambienti. Sono quindi convinto, che la diversità de'minerali, presi piuttosto nella regione superiore che nella inferiore d'un filone, dipenda il più delle volte da un'azione concomitante la formazione del filone stesso. Prendendo anche soltanto di mira la temperatura, la quale presiede evidentemente alla successione delle diverse combinazioni nei fumajoli vulcanici; è certo che essa temperatura deve diminuire, dalle profondità terrestri salendo alle regioni più superficiali. Non possono adunque aver luogo le identiche combinazioni, tanto nelle profondità, come nelle regioni superficiali.

649. Non bisogna però escludere la possibilità di modificazioni posteriori alla formazione del filone, sopra tutto in vicinanza della superficie, dove l'atmosfera e le acque attivano talora de'processi così rapidi di composizione e di ricomposizione. Io dubito, per es., che il predominio dei minerali concrezionari, calcedonia, malachite, ematite, nella regione superiore si debba alle acque d'infiltrazione, agenti lentamente sui minerali componenti il filone, nominatamente pei minerali citati, sul quarzo, sulla pirite cuprea, e sul ferro oligisto. Chi ha visto una volta le maravigliose masse concrezionari d'ematite d'Inghilterra, o di malachite degli Urali, potrà a fatica difendersi dal vedervi altrettanti riempimenti stalagmitici od alabastroidi in seno ai filoni.

650. Finora abbiamo considerato i filoni isolatamente; ma risultati non meno importanti possiamo ottenere osservando i rapporti che legano i filoni tra loro, e li ripartono in tanti sistemi.

I filoni, come i dicchi, mostrano evidentissimo il carattere del parallelismo. Non è vero cioè, come è suggerito da certe idee volgari, che i filoni metalliferi formino un intreccio, un labirinto inestricabile. Nei distretti metalliferi invece molti filoni tengono l'istessa direzione, mantenendosi paralleli fra loro, e formando quello, che si chiama un sistema di filoni. Vi saranno poi nello stesso distretto de'filoni, che seguono un'altra direzione, mantenendosi paralleli fra loro, e formeranno un secondo *sistema*. Così sei, sette sistemi, ed anche più, si potranno distinguere nello stesso distretto.

Siccome abbiamo veduto, non esser altro il filone che il riempimento d'una spaccatura, un sistema di filoni rappresenta un sistema di spaccature parallele. Gli altri sistemi rappresentano pure altri sistemi di spaccature. Se tutte queste spaccature si fossero prodotte contemporaneamente, sarebbero state riempite tutte dalle istesse sublimazioni, e tutti i sistemi di filoni si fonderebbero, per dir così, in un

solo filone ripartito in diversi piani di spaccature, o paralleli od intersecantisi fra loro. Siccome invece ogni filone mostra una propria individualità, sicchè o passa senza discontinuità attraverso al filone che incontra per via, ovvero è rotto ed incrociato da questo; bisogna dire che le spaccature non furono contemporaneo, ma successive; per cui le prime formatesi poterono riempirsi, poi vennero le seconde e poterono incrociarsi colle prime, rompendo la sutura operata dal riempimento, e così via via. Il fenomeno si osserva benissimo di fatto nei grandi distretti metalliferi, ove si rimarcano filoni *incrociati*, e filoni *incrociatori*, sistemi *incrociati* e sistemi *incrociatori*.

651. È una cosa molto riflessibile questa che ciascun sistema di filoni, incrociato od incrociatore che sia, mantiene approssimativamente l'identica composizione in tutti i filoni paralleli onde è composto. Sarà un primo sistema parallelo di filoni ferriferi; e questo sarà incrociato da un sistema ugualmente parallelo di filoni galeniferi: poi troverassi forse un terzo sistema di filoni paralleli piritiferi, che incrocia i due: nè mancherà, se fa d'uopo, un quarto sistema di filoni sterili, che incrocia i tre.

Ad Ehrenfriedersdorff i filoni argentiferi, tutti diretti da N. a S., incrociano i filoni stanniferi diretti da E. ad O. In Cornovaglia si distinsero nove sistemi di filoni: due di stagno, uno di porfido (dicchi piuttosto che filoni), tre di rame, uno di quarzo, due d'argilla. Nel distretto di Freiberg più di 900 filoni furono scoperti sulla superficie di 125 chilom. quadr. Si riportano a quattro sistemi ben decisi, le cui direzioni sono approssimativamente: 1.° da N-E. a S-O.; 2.° da E. a O.; 3.° da S-E. a N-O.; 4.° da N. a S.

652. In quanto abbiam detto noi abbiamo già gli elementi, per stabilire la cronologia de'filoni, come l'abbiamo stabilita per le rocce eruttive; e abbiamo del pari trovato la via, per tener dietro allo sviluppo dell'attività interna del globo, anche lu ordine alle sue secondarie manifestazioni.

Primieramente ogni filone, essendo il risultato di un riempimento di molteplice natura, gioverebbe trovar modo di stabilire la cronologia del riempimento stesso. Questo modo ci è offerto appunto dalla struttura ordinaria dei filoni. Abbiamo veduto che i filoni fetucciati (e lo sono, più o meno distintamente, quasi tutti) risultano dalla successiva sovrapposizione di zone minerali di diversa natura. Naturalmente tale sovrapposizione, trattandosi d'incrostazioni o di sublimazioni, avvenne successivamente, partendo dalle pareti del filone, cioè dalle salbande, per arrivare al mezzo. Le zone più vicine alle pareti saranno dunque le più antiche, e la più giovane di tutte sarà la zona, ossia il binario, di mezzo. Un altro dato, sul quale stabilire la cronologia dei minerali componenti un filone, ci è offerto dal diverso aggruppamento de'minerali, i quali ponno o intersecarsi, o ricoprirsi a vicenda, indicando a chiare note qual fu primo, quale secondo, e sopra tutto dalle *pseudomorfosi*. Si dice che ha luogo una pseudomorfosi quando un minerale qualunque presenta la forma di un altro. È un caso di pseudomorfosi anche quello della pietrificazione o metallizzazione dei corpi organici. Ma più propriamente colla parola pseudomorfosi si indica l'esistenza di un minerale cristallizzato colla forma cristallina d'un altro. Talora si tratterà di una semplice sostituzione, come quando, per esempio, nella cavità lasciata da un cristallo di quarzo, comunque scomparso, s'infiltrasse il carbonato di calce, il quale, cristallizzandosi, offrirebbe lo spato calcareo sotto la forma bipiramidale del cristallo di rocca. Avremo in questi casi tre epoche successive da distinguere: una prima epoca in cui formossi il cristallo di quarzo; una seconda epoca in cui il cristallo di quarzo venne disperso; una terza epoca, in cui il carbonato di calce fu

gittato nello stampo del cristallo di rocca. Altre volte la pseudomorfosi sarà il prodotto di una vera conversione elettro-chimica, per cui un cristallo preesistente verrà esportato, molecola per molecola, e sostituito. molecola per molecola, da altro minerale; avvenendo contemporaneamente la dispersione, supponiamo, del quarzo, e la sostituzione del carbonato di calce.

653. La stupenda collezione dei saggi di vene minerali, ordinata nel *Museo di geologia pratica* a Londra, offre esempî veramente meravigliosi dell'associazione di minerali diversi, ove si legge veramente la cronologia dei processi impiegati dalla natura, pel corso di chi sa qual numero di secoli, al riempimento di que' filoni, i quali costituiscono una delle principali ricchezze dell'Inghilterra. Là si vedono, per esempio, cristalli di quarzo, che hanno vestito le forme dello spato fluore ottaedrico, il quale disparve: cristalli di pirite di ferro improntati da cristalli di barite, i quali pure disparvero: quarzi, che presentano la forma tabulare dello spato calcareo. Varî esemplari presentano questo caso singolarissimo. Voi vedreste gruppi di cavità cubiche, o diremo gruppi di negative, ossia di modelli di cristalli cubici, i quali, a non dubitarne, vi rappresentano gruppi distrutti di que'grossi cristalli di spato fluore, che costituiscono una delle meraviglie mineralogiche dell'Inghilterra. Quelle cavità sono modellate nel carbonato di ferro; e nelle cavità stesse voi scoprite le piriti cupree iridescenti ed i cristalli di quarzo. Quo'pezzi vi narrano una lunga storia. Formossi dapprima, in grossi cristalli cubici, lo spato fluore: il carbonato di ferro venne poscia ad incrostare que' cubi, ed a rinchiuderli quasi entro una teca: ma ciò non impedì che lo spato fluore potesse evadere, ajutato, si può dire certamente, dalle acque circolanti, sotto l'influsso delle correnti elettriche; e di lui non rimase che la forma vuota, in cui furono liberi di rifugiarsi finalmente la pirite e il quarzo. Molti esempi consimili, offerti da quella classica collezione, voi potete leggere descritti nel *Catalogue of the mineral Collections in the Museum of practical geology* (Londra, 1864), lavoro veramente classico, come la collezione che illustra, per tutto ciò che riguarda la formazione de' minerali, e principalmente la teorica de' filoni.

654. Più facile ancora riesce lo stabilire la cronologia relativa dei filoni. Abbiam veduto come i filoni, riempiendo delle fessure, formatesi in diversi tempi ed in diverse direzioni, distinguonsi in *filoni incrociati* ed in *filoni incrociatori*. L'*incrociatore* è quello che passa attraverso all'altro, senza provare nè interruzione nè disturbo: il che vuol dire che esso incrociatore riempì una spaccatura, che ruppe del pari la roccia incassante, ed i filoni che vi si erano già formati. L'*incrociatore* è dunque, in ordine cronologico, posteriore all'incrociato. L'incrociato poi, oltre al fatto d'una discontinuità pari allo spessore dell'*incrociatore*, presenterà anche, quasi inevitabilmente, quello d'un *rigetto*. Così si chiama nel linguaggio tecnico il *salto*, presentato quasi invariabilmente dal filone incrociato, il quale fu respinto o in alto o in basso, o a destra o a sinistra, mettendo talvolta il minatore in serio imbarazzo, perchè non vi è nessuna legge per conoscere *a priori*, se il *rigetto* sia avvenuto in un senso o in un altro. Siccome però i *salti* devonsi produrre più naturalmente per rottura, e conseguente scivolamento d'una parte della roccia sull'altra; e siccome tale scivolamento deve avvenire più facilmente, quando, al pezzo che scivola, l'altro presenti un piano inclinato; così può valere per la pratica il principio stabilito da Schmidt, che *il rigetto ha luogo come nel supposto, che il tetto dell' incrociatore abbia scivolato sul muro.* Un bellissimo esempio, citato dal Burat (*Géol. appl.*, Pl. X, fig. 2, p. 315), ci è offerto dal filone Gottlober-Morgengange, il quale, diviso in tre rami, respinge tre volte il filone incrociato nel senso voluto dal principio di Schmidt. Si verificano del resto tutti i casi possibili.

655. Come s'incrociano i filoni, così s'incrociano i sistemi, ed avremo *sistemi incrociati* e *sistemi incrociatori*. Applicando ai sistemi ciò che abbiam detto dei singoli filoni, il sistema incrociato sarà più antico dell'incrociatore. Il sistema *incrociato* sarà anche il sistema dei *rigetti*, dei *salti*; mentre l'*incrociatore* sarà quello, a preferenza, dei regolari andamenti.

656. Visto come si stabilisca la cronologia dei minerali e dei filoni tra loro, osserviamo questi nei loro rapporti colle rocce eruttive, e specialmente colle rocce sedimentari, sicchè la cronologia de'filoni possa entrare come uno degli elementi della cronologia generale del globo. Sotto questo rapporto vale pei filoni ciò che abbiam detto dei dicchi; poichè alla fine i filoni non sono altro che dicchi, i quali, in luogo d'essere rimpiti da lave, lo furono da minerali diversi. Un filone sarà quindi più recente di tutte le rocce, di tutti gli strati, che egli ha attraversato. Un filone, per esempio, che attraversi la creta, e lascia intatti gli strati terziarî, si sarà formato in un intervallo tra l'epoca della creta e l'epoca terziaria.

La catena delle colline granitiche di Cornovaglia, il distretto più metallifero d'Inghilterra, è costituita da granito che sopporta il *Killas* (schisti argillosi, passanti agli schisti talcosi e amfibolici). Il tutto è attraversato da porfido quarzifero, detto *elvan*. I filoni a perossido di stagno od a pirite cuprea ne costituiscono la ricchezza. Alle eruzioni porfiriche, che avrebbero preceduto l'epoca carbonifera, si attribuisce quella ricchezza metallica. Gli studî di Dufrénoy e di E. De Beaumont condurrebbero a stabilire questa serie di avvenimenti. Prima ebbe luogo il sollevamento della contrada, e il porfido injettò le crepature, che si andavano producendo nella massa granitica, coperta dal Killas. Rimasero così aperte le vie alle sublimazioni, che si attuarono lunga pezza, reticolando il porfido stesso, non che il granito e il Killas.

657. Visto come i filoni di uno stesso sistema presentino, almeno ordinariamente, una stessa natura, essa natura mineralogica potrebbe convertirsi in dato cronologico. Ma la cosa dev'essere praticamente assai dubbia, nè credo siasi fatto alcun serio tentativo in proposito.

658. Un ultimo dato sul quale può stabilirsi la cronologia de'filoni o, direm meglio, la cronologia generale de'minerali, ci è offerto dalla presenza de'minerali, nominatamente de'metalli, nelle rocce sedimentari. Naturalmente un minerale, che fa parte del detrito d'uno strato sedimentare, deve aver preceduto la formazione di quello strato. L'oro, per esempio, figurerebbe, secondo Burat, tra i minerali più recenti. Esso infatti non si scopre negli antichi terreni detritici, per esempio nelle arenarie del trias; mentre si trova così abbondantemente sparso nelle alluvioni attuali dipendenti dalle Alpi, dai Pirenei, dagli Urali, dalle Cordigliere. Murchison nella sua *Siluria* tratta a lungo dei giacimenti di questo prezioso metallo. Le vene aurifere più ricche appartengono ai terreni siluriani; ma vi potrebbero essere penetrate ben tardi, poichè nessun deposito secondario e terziario ne contiene. Nella cronologia de'metalli, egli aggiunge, il ferro è il più antico di tutti, perchè si trova abbondantissimo negli strati sedimentari del *laurenziano*. Il rame vien dopo, poichè le sue vene attraversano i terreni ferriferi: ultimo l'oro, poichè non lo si trova nei terreni detritici del periodo permiano, ove invece il rame abbonda. Ho citate queste osservazioni sull'oro per dare un esempio dell'ultimo modo proposto per stabilire la cronologia de'metalli, e dei minerali in genere, non essendo persuaso del resto che i graniti e le dioriti, i quali sono, dice Murchison, i produttori dell'oro, possano rimontare ad epoche così recenti, come qui parrebbe pretendersi.

Dallo studio dei filoni derivano alcuni corollarî assai importanti per la geologia teorica, e sono i seguenti.

Digitized by Google

659. *Ripetizione e intermittenza delle oscillazioni del globo.* — Le spaccature, riempite dai filoni, sono altrettanti effetti e testimonî delle oscillazioni della crosta del globo. La moltiplicità dei *sistemi di filoni*, e il loro incrociamento nello stesso distretto, dicono in chiare note che più volte, e in diverse direzioni, agì quella forza, che, intesa al continuo rimestamento delle terre e dei mari, rompeva in mille frantumi la scorza terrestre. L'intermittenza di quelle oscillazioni trova la miglior testimonianza ne'sistemi de'filoni, cui vedemmo potersi dividere in *incrociati* e *incrociatori*. Perchè esistesse un *sistema incrociatore* era necessario: 1.° che, mediante un movimento della crosta terrestre, si producesse un sistema di spaccature; 2.° che esse spaccature venissero riempite; 3.° che un nuovo movimento della crosta terrestre producesse un nuovo sistema di spaccature: e così tante fiate, quanti sono i sistemi. Il riempimento del filone dice un intervallo di riposo tra l'uno e l'altro urto: ed esso intervallo doveva essere molte volte lunghissimo, di secoli e secoli, perchè potessero, per lenta sublimazione, accumularsi quelle ingenti masse di minerali, e avesse tempo di rimutarsi le tante volte l'interna attività del globo.

660. Parlai di un intervallo di riposo, con che non volli escludere un'azione lenta, continuata, talora anche intermittente, per cui le fessure, prodotte dallo stesso movimento, si andassero continuamente allargando. Anzi, come già mi espressi esponendo la teorica de'sollevamenti, le fessure, determinate istantaneamente dalla pressione, o dallo stiramento, nell'atto che vince la coesione, si allargheranno poi lentamente, sicchè nel vano, che va ampliandosi, potranno formarsi molti *binarî* (§ 603). Anche l'allargamento delle fessure già formate può avvenire a intervalli. Ce ne fa fede, colla sua struttura eccezionale, il filone sestuplo di Redruth. La Bêche, citato da Lyell (*Manuel*, II., pag. 483), riporta il fatto di un filone, composto di sei binarî, o zone duple, in una spaccatura del granito, presso Redruth in Cornovaglia. Ma qui i binarî non sono, come nei filoni fetucciati, inscritti l'uno nell'altro, partendo dalle salbande, e procedendo verso il mezzo (§ 604). Sono invece justaposti, formati cioè ciascuno di zone, di cristalli, che si incontrano colle loro punte sulla linea mediana di ciascun binario. I sei binarî poi sono fra loro separati da una sottile parete, cioè da un sottile intonaco di argilla ocracea. Questa è dovuto, ritengo, alla decomposizione del granito, che fu successivamente a contatto con ciascun binario, staccandosi dal primo, che riempiva la fessura originaria, per dar luogo al secondo; quindi dal secondo, per lasciar posto al terzo, e così di seguito.

661. *Continuità dell'attività chimica del globo.* — I più antichi, come i più recenti terreni, sono disseminati a dovizie di minerali in filoni. Tutta la compagine terrestre, come il fusto di una pianta, o il corpo di un animale, è percorsa, reticulata da un gran sistema di vene che, dai tronchi colossali, si dirama sino alle capillari venuzze, accusando quel continuo processo creatore e riparatore, che si attiva incessantemente nel gran laboratorio tellurico.

662. *Mutabilità dell'azione chimica nell'interno del globo.* — Chi riflette alla moltitudine delle combinazioni che si offrono nello stesso filone, alla diversità di natura, che distingue le diverse zone dei filoni fetucciati, finalmente alla diversa composizione che distingue fra loro i diversi sistemi di filoni, non può che dedurne il concetto di una grande mutabilità dell'azione chimica interna nelle diverse epoche del globo, e fin ne'diversi brevi periodi della stessa epoca. La mutabilità è mostrata anzitutto dallo stesso filone.

663. Un magnifico pezzo del Museo di Milano, estratto da una miniera di galena nel porfido quarzifero di Valganna, mostra, in mezzo alla più bizzarra associazione

di diversi minerali, la più, evidente successione cronologica dei medesimi. Prima formossi un conglomerato di frizione porfirico, che venne cementato dal quarzo cristallizzato: i vuoti lasciati dal quarzo furono incrostati da fluorina bleu, a cui successe la baritina rosea. I vuoti lasciati da questa furono successivamente convertiti in druse di fluorina ambrata e di cristalli di galena. Quest'ultima si vede imprigionata nei cristalli di fluorina o anche cristallizzata alla superficie dei cristalli di questa.

664. La mutabilità è resa ancor più manifesta dal confronto de' diversi filoni. Le osservazioni di Fournet sulle miniere dell'Alvernia ci offrono quanto v'ha di meglio, per mostrare del pari la moltiplicità e l'intermittenza delle oscillazioni del globo sugli stessi punti, che la mutabilità dell'azione chimica nel suo interno.

Il granito fu dapprima penetrato da vene granitiche. Nuovi dislocamenti produssero un nuovo sistema di fessure, riempite di quarzo, di solfuro di ferro, e di pirite arsonicale. Nuove e più violenti convulsioni ruppero le rocce con violenza. Le spaccature riempivansi di frantumi di rocce adiacenti, e di vene antecedenti. Essi frantumi furono in seguito cementati dalla selce cornea, e diversi solfuri penetrarono la breccia quarzosa, che risultonne. Le stesse fenditure furono in seguito dilatate: nuovi minerali vi penetrarono dall'interno, mentre dall'esterno penetraronvi ciottoli di alluvioni, riferibili al miocene ó al pliocene.

665. Per formarci però un'idea adeguata della meravigliosa mutabilità dell'attività chimica nell'interno del globo, credo non vi sia nulla di più opportuno di una visita ai distretti metalliferi d'Inghilterra. Anche sotto questo rapporto debbo accennare alla impressione profonda prodottami dalla collezione mineralogica del *Museum of practical geology* a Londra. Tra i molti pezzi raccoltivi, a documento della storia meravigliosa delle vene e dei filoni, ne rimarcai uno singolarmente, ove una crosta di quarzo disegna esattamente un gruppo di grossi cristalli cubici di spato fluore, il quale scomparve, lasciando che nei vuoti cubi si deponesse la blenda, ossia il solfuro di zinco. Vi fu adunque un'epoca in cui entro le fessure di Nenthead nel Cumberland (località donde il pezzo fu estratto) si alzavano dal fornello tellurico vapori fluorici, per sì lunga stagione, che ne risultarono enormi cristalli di fluorina. Ma un primo processo è compito, e dallo stesso fornello si levano vorticosi i vapori silicei, che incrostano di quarzo i cristalli di fluato. Allora ha luogo un cambiamento d'attività ancor più meraviglioso: sempre dallo stesso apparato, attraverso gli stessi condotti, si sviluppa un nuovo ignoto agente, che distrugge ciò che prima si era formato. La fluorina scompare, e il quarzo, rispettato, ne custodisce gelosamente le forme. Ma nuovi elementi danno alimento a quella attività che allo spato fluore sostituisce la blenda.

666. *Uniformità della attività stessa.* — Anche qui tuttavia non è tradito quel sistema, per cui la varietà si concilia coll'unità. Potremmo ripetere, a proposito dei filoni, quanto abbiam detto circa l'uniformità dell'agire della natura, nella formazione delle rocce eruttive in tutti i tempi, uniformità che non è punto contradetta dalla varietà delle rocce stesse Per esser brevi, diremo:

1.° Che la natura si comportò sempre allo stesso modo nella formazione dei filoni, i quali presentano sempre lo stesso modo di struttura;

2.° Che il principale agente impiegato nei multiformi processi fu sempre, e invariabilmente l'acqua;

3.° Che gli stessi minerali, o minerali analoghi, furono prodotti in tutti i tempi.

Non avendo i primi due punti bisogno di prova, accenneremo a sostegno del terzo

come i diversi sistemi di filoni, distinguendosi per diverse associazioni, non escono però da un certo numero di matrici e di metalli, che si possono dire prodotti in tutti i tempi. A risparmio di esempî, basti il dire che molti dei minerali, che noi incontriamo nei filoni, continuano a prodursi nei fumajoli, nelle solfatare, nelle sorgenti, nelle stufe, che manifestano l'attuale attività chimica del globo. Così ora si formano, come negli antichi filoni, lo solfo, il fluato di calce, il quarzo, la selce nelle sue varietà, il carbonato di calce, il solfato di soda, il cloruro di sodio, la baritina, il carbonato di manganese, l'ossido di stagno, il ferro oligisto, ecc.

XVII. Sopra alcuni depositi d'indole eccezionale di prodotti endogeni.

Quali formazioni riguarda il presente capitolo, 667-670. — *Ferro sublimato e ferro sedimentare*, 671. — *Ferro nelle sorgenti*, 672. — *Virtù elettiva delle sostanze organiche*, 673, 674. — *È un processo di sostituzione elettro-chimica*, 675. — *Sua finezza*, 676. — *Azione degli animali*, 677. — *Ferro lacustre in Svezia*, 678. — *Antichi depositi di ferro*, 679. — *Ferro nel carbonifero*, 680, 681. — *Si concilia col clima torrido dell'epoca*, 682. — *Importanza del ferro sedimentare nell'epoca azoica*, 683. — *La selce per via umida*, 684. — *Per infiltrazione*, 685. — *Selce gaiseriana*, 686. — *Selce nei terreni antichi*, 687. — *Selce conorezionare*, 688. — *Nella creta*, 689. — *Influenza delle sostanze organiche*, 690-693. — *Il gesso nei diversi terreni*, 694. — *Gesso deposto dalle sorgenti*, 695. — *Gesso marino*, 696. — *Origine dell'anidrite*, 697. — *Gesso di solfatara*, 698. — *Nei vulcani di fango*, 699. — *Gesso metamorfico*, 700. — *Salgemma*, 701. — *Nei vulcani e nelle salse*, 702. — *Salgemma sedimentare*, 703. — *Isolamento di antichi bacini*, 704. — *Provato come necessità di economia tellurica*, 705, 706. — *Esempî*, 707. — *Provato dall'associazione dei sali delle acque madri*, 708. — *Processo delle saline artificiali*, 709-711. — *Difficoltà dell'applicazione alla geologia*, 712. — *Tutto in favore*, 713. — *Depositi di Stassfurt*, 714. — *Confronto colle saline artificiali*, 715, 716. — *Sistema di depressioni accusato dai depositi di salgemma*, 717. — *Cronologia del salgemma*, 718-720. — *Laghi salati*, 721. — *Mar Morto*, 722. — *Il Sahara e l'Istmo di Suez*, 723. — *Steppe e deserti*, 724. — *Solfo*, 725. — *Sue origini*, 726. — *Il gas solfidrico come primo generatore*, 727. — *Solfo termogene*, 728 — *Solfo sublimato dalle sorgenti*, 729, 730. — *Dalle solfatare*, 731. — *Solfo metamorfico*, 732. — *Solfatare di Sicilia*, 733-735. — *D'altre località*, 736. — *Allume*, 737. — *Allumiere della Tolfa*, 738. — *Cratere di Latera, e solfatara di Pozzuoli*, 739. — *Isola Milos*, 740.

667. Esaurito ciò che riguarda i filoni, ci rimarrebbe a dire dei diversi ammassi, che si presentano sotto altre forme, contemplate al § 593. Ma, se ben si osserva, trattasi non già di forme decisamente diverse, ma di certe modalità delle forme generali già considerate. Queste forme generali si ridurrebbero a tre: 1.° la forma sedimen-

tare, od a strati; 2.° la forma eruttiva, o ad ammssi, in dicchi od in espandimenti; 3.° la forma emanativa od a filoni. Talvolta gli agenti, che operarono nelle tre forme indicate, si trovarono in condizioni eccezionali; talvolta si trovarono associati fra loro. Ne risultarono quindi delle formazioni d'indole eccezionale, delle formazioni miste, che presentano dei modi di essere eccezionali delle tre forme principali, o dei prodotti eccezionali della loro associazione. Trattandosi di cose eccezionali, meglio che l'occuparci d'una classificazione sistematica, ci gioverà il passare in rassegna i depositi eccezionali, più meritovoli di considerazione. Il presento capitolo è come un'appendice alla seconda ed alla terza parte di quest'opera, ove passeremo in rassegna diverse formazioni, le quali si possono, osservate da un lato prevalente, considerare o come sedimenti, o come rocce eruttive, o come filoni; si differenziano però, per altri lati, dai sedimenti, dalle lave, dai filoni communi; ovvero presentano come un caso d'ibridismo delle diverse formazioni; ovvero furono prodotte, secondo i casi, da uno, piuttosto che da altro agente.

668. Ragionando dapprima in via generale, il concetto, per esempio, della sedimentazione, dice un deposito a strati orizzontali, di materie detritiche, trasportate meccanicamente, o tenute in sospensione, ovvero disciolte chimicamente nelle acque. Se tuttavia all'azione meccanica o chimica delle acque si aggiunge un influsso particolare delle sostanze organiche, potremo avere un deposito d'indole eccezionale, che va distinto dai communi sedimenti. Troveremo che sono per ciò meritevoli di specialo considerazione i letti stratificati di ferro, di selce, ecc.

669. Quando si dice una roccia eruttiva, s'intende communemente una lava; un magma acqueo cristallino, uscito alla luce, in mezzo ad un apparato complesso, costituente un vulcano. Ma i fanghi eruttati dalle salse e talvolta dagli stessi vulcani non sono lave, e meritano speciale considerazione. In quel modo che si riempiono i filoni, o per sublimazione o per infiltrazione; si possono riempire de' vacui, e grandi e piccoli, i quali non rappresentano punto delle spaccature della crosta terrestre. Quel riempimento, originato a modo de' filoni, non è però un filone. Le solfatare, per esempio, ci hanno già presentato le migliori analogie coi filoni: ma esse costituiscono un fenomeno parziale, ed i depositi che ne risultano e ne risultarono, devono considerarsi come forme parziali.

670. Faccio osservare finalmente, che esistono dei depositi di identica natura, indicati collo stesso nome, che puro hanno origine diversa. Il solfo termogene, deposto dalle sorgenti minerali, è della stessa natura del solfo cristallizzato, che si ammassa nelle solfatare; ma il geologo dovrà distinguere le diverse generazioni, per non cadere in quelle generalizzazioni, che nuociono tanto ai progressi della scienza.

Spiegato così quale sia lo scopo e il senso del presente capitolo, passo immediatamente alla rassegna di que' depositi, i quali principalmente meritano di essere, secondo esso scopo e in esso senso, considerati.

671. Tra i depositi eccezionali, che non hanno meno perciò una grande importanza, annovereremo dapprima i grandi ammassi di ferro. Non parlo del ferro in veri filoni, i quali risultano da sublimazioni ferrifere, sotto l'influsso dolla temperatura e dell'acqua. L'oligisto cristallizzato speculare si accumula anche attualmente, per sublimazione, nelle crepature degli attuali vulcani, e scopresi, nelle stesse condizioni, nei vulcani spenti, per esempio, nel Puy de Dôme, nel Mont-Dore, ecc. Così si spiegano facilmente gli ammassi di oligisto nelle amfiboliti della Svezia, nelle serpentine delle Alpi. Nei Vosgi l'oligisto è ammassato nelle rocce a contatto coi porfidi, quasi riempisse vasti e profondi camini, vaneggianti tra le une e gli altri. Ne' Pirenei, se-

condo Dutrenoy, il ferro ossidulato, l'oligisto, il ferro spatico, le ematiti fibrose o concrezionarî, riempiono fessure determinate dal sollevamento postcretaceo, come ammassi generati da emanazioni gazose o da acque minerali (Burat, *Géol. appl.*). Parmi che l'associazione del ferro oligisto cristallizzato e delle ematiti concrezioanrî, riveli quella, facile a verificarsi o contemporaneamente o successivamente, dei vapori e delle acque. Sarebbe l'uno prodotto di sublimazione; l'altra di incrostazione, o di infiltrazione. Fin qui siamo in quell'ordine di fatti, che si presentano nei filoni, dove il ferro figura talvolta come matrice. Ma noi vogliamo parlare specialmente dell'origine dei grandi ammassi ferriferi, che hanno forma di strato, o si associano agli strati sedimentari, completando quanto abbiam detto in diverse occasioni e specialmente nei paragrafi consacrati alla descrizione dei diversi minerali di ferro (*Parte prima*, § 173-184). Dobbiamo a Locoq l'avere raccolti i particolari più interessanti di cui ci gioviamo in questo breve trattato sull'origine del ferro sedimentare (Lecoq, *Les eaux minérales*, pag. 260 e 275).

672. Il ferro in origine è un prodotto endogene. Come è sublimato dai vulcani, così esce disciolto nelle acque delle sorgenti, allo stato di ossido di diverso grado, reso solubile dai diversi solventi che si associano all'acqua, e principalmente dal gas acido carbonico, che si può chiamare l'indefettibile compagno delle sorgenti minerali. Nulla di più comune delle sorgenti marziali; sicchè ben difficilmente osserverete uno stillicidio sui monti, che non lasci, sulla madida roccia, una incrostazione, o almeno un velo, di ossido di ferro. Sono numerose quelle sorgenti così ricche di ferro, da formare depositi considorevoli, o nel letto da loro percorso, o nei bacini ove vanno a stagnare. Talvolta depongono vere masse di ferro argilloso o limonitico, come è il caso, per esempio, di certe sorgenti dell'Alvernia; più spesso tingono di colore rugginoso, più o meno intenso, i calcari incrostanti, che le stesse sorgenti depongono. Celebri sotto questo secondo rapporto sono le sorgenti di Carlsbad. Bischof osservò nell'Eifel sorgenti ferruginose di tale ricchezza, le quali, se si conducessero a stagnare in bacini, in luogo di precipitarsi nel Reno, darebbero un prodotto giornaliero di 2000 chilogrammi di perossido. Siccome tutte le sostanze incrostanti, e il ferro in modo speciale, hanno la tendenza ad assumere la forma concrezionaro o pisolitica (*Parte prima*, cap. VI); così si spiegano facilmente i grandi depositi di ferro pisolitico, o siderolitico, negli strati dell'*oolite* o di altre formazioni. Bisogna ammettere naturalmente che le acque ferruginose, destinate a creare quegli ammassi, sgorgassero, o si raccogliessero, entro bacini lacustri, od in seni marini poco profondi, ove da una parte riuscisse facile l'evaporazione, e dall'altra il ferro potesse impastarsi, od associarsi, sotto forma pisolitica ai sedimenti argillosi o calcarei, che si andavano contemporaneamente formando. Il signor Gressy giunge fino ad indicare, nelle parti più dislocate del Giura, dei piccoli crateri, indizî di altrettanti geyser, i quali eruttavano acque sabbiose e ferruginose nell'epoca della creta. L'abate Raquin indica come prodotti da sorgenti sabbiose e ferruginose gli ammassi di ferro limonitico, che si trovano a Sémur, in seno ad argille di formazione lacustre, che ne sono intensamente colorate.

673. I depositi di ferro ossidato non avrebbero però acquistato la potenza che li caratterizza, principalmente in certe formazioni (per esempio, nella formazione carbonifera) quando non si fossero verificate circostanze atte a favorire la sedimentazione, o direm meglio, a determinare un vero processo di secrezione, per cui ammassi imponenti di minerale potessero originarsi da acque poverissime di ferro. Fu da lungo tempo segnalata, sotto tale rapporto, l'influenza delle sostanze organiche. Fu notato come l'ossido di ferro abbia una grande tendenza a combinarsi col gas acido carbo-

nico, e colle sostanze organiche, formando nuovi composti. Ecco come nelle paludi, nelle maremme, nelle lagune, nei bassi fondi, ove non v'ha mai difetto di vegetali putrescenti e di gas acido carbonico, che è il principale prodotto nel primo stadio della fermentazione dei vegetàli (*Parte prima*, § 441), il ferro troverà più facilmente di combinarsi, dando origine a nuovi composti, i quali di fatto si depongono in ammassi maggiori o minori. Dico *di fatto*, perchè non vi ha fenomeno più volgare di quello della formazione di depositi limacciosi, gialli, insomma, di ferro perossidato gelatinoso, misto a sostanze terrose e ad elementi diversi. Ciascuno può osservarne nei più piccoli fossati, come nelle più vaste paludi.

674. Ho detto che ha luogo un vero processo di secrezione, il che significa che il ferro, per virtù delle sostanze organiche, viene secretato dall'acqua, che lo contiene talora in dose impercettibile, sicchè l'acqua genera, in queste circostanze, dei depositi di ferro, anche imponenti, mentre da sola non ne avrebbe deposto un atomo. Detto processo si osserva benissimo in azione, quando si veggono i vegetali morti, le vecchie radici, scolorare le sabbie e i terreni ferruginosi, in cui sono infisse. Così ogni vegetale morto si converte in un centro di attrazione, intorno al quale si forma un ammasso di ferro secretato dall'acqua o dal terreno umido circostante. Osserva Kindler che l'ossido, così secretato, è reso anche solubile; sicchè può essere trascinato dalle acque, e creare sorgenti ferruginose, le quali, stagnando, depongono il ferro in fiocchi.

675. Questo processo, che noi abbiam detto di secrezione, è un vero caso di sostituzione elettro-chimica, che ha luogo per la mutua reazione tra l'acqua ferrifera e le sostanze vegetali. Si vede infatti come l'ossido di ferro viene a sostituirsi, molecola per molecola, alla materia organica. Lecoq descrive, per esempio, un pezzo di betulla, tolto da una torbiera di Siberia, ove l'organismo, le fibre, i vasi, sono perfettamente conservati, ma conversi in perossido. Kuhlmann parla di un affusto di cannone, scoperto a Dunkerque, il quale, dopo un lungo soggiorno nell'acqua, si trovò parzialmente convertito in limonite. La fibra era intatta. In questo caso il ferro, adoperato in quel lavoro di metamorfismo, era lo stesso ferro che aveva servito alla costruzione dell'affusto, e che, allo stato di ossido nascente, si andava sostituendo, atomo per atomo, al carbonio del legno, che sfuggiva sotto forma di gas acido carbonico.

676. Diceva più sopra che anche le acque più pure possono, col concorso delle sostanze organiche, formare depositi ferruginosi; sempre inteso che non vi ha acqua, la quale non contenga qualche atomo di ferro disciolto. Il fatto è messo in luce appunto dal descritto processo di secrezione promosso dalla vegetazione. Daubré osservò che il ferro si deponeva, in presenza dei vegetali, in seno ad acque, dove il chimico non riusciva a scoprirne nessuna traccia. Targioni-Tozzetti non ha potuto riconoscere nessuna traccia di ferro nelle acque termali di Rapolano. Eppure osservò il ferro, contenuto nelle oscillarie, che crescono in quelle acque, ed accumulato nelle cavità, e nei depositi terrosi, che essi depongono.

677. All'azione dei vegetali, morti e putrescenti, si associa quella degli animali vivi, di quel mondo marziale, come lo chiama Lecoq, di infusori ferruginosi, che brulicano a miriadi in seno a quelle acque stagnanti, ove appunto si deposita il ferro. Quegli organismi sembrano destinati piuttosto a fissare il ferro che a produrlo. Come i coralli, assimilando il calcare, se ne fabbricano lo scheletro, così quegli enti microscopici assimilano il ferro, fabbricandosene meravigliose armature. La *Gaillonella ferruginea* è, secondo Ehremberg, l'autrice della maggior parte del ferro delle nostre paludi. Nei laghi della Svezia si numerano molte specie di codesti animaletti metal-

lurgisti, i quali adunano dei depositi lunghi fin 200 metri, larghi 15 e dello spessore di 8 decimetri. È naturale che depositi così copiosi siano utilizzati: e buona porzione del ferro in Svezia ed in Norvegia è estratta da queste miniere viventi.

678. Il signor Lecoq riporta in proposito le osservazioni interessantissime di Oscar di Watteville. Approfittando egli di una magra considerevole di un lago della Svezia, osservò certe depressioni dei bassi fondi riempite d'acqua ed offrenti uno spettacolo meraviglioso. In quei pelaghetti si agitavano sulla massa del minerale deposto degli esseri appena visibili, intesi a rinchiudersi nella loro teca metallica, come il baco che si rinserra nel suo bozzolo. Ognuno di quei piccoli esseri, architettando una rete di neri filamenti, disegnava la forma esteriore dell'edificio, di cui occupava il centro, finchè scompariva, murato entro l'edificio stesso, che aveva l'aspetto d'un grano bruno, della grossezza di un uovo di rana. Per compire un tale lavoro, è indispensabile a quegli animaletti l'acqua calma e stagnante. Essi non fabbricano mai nelle acque correnti, per cui il ferro si trova disseminato, in masse isolate, sui fondi di sabbia o d'argilla. Il processo, dovuto all'opera coordinata dei vegetali e degli animali, è d'una attività veramente meravigliosa; tanto che si citano dei laghi, ove le miniere erano state esaurite, e non pertanto si poterono riattivare 26 anni più tardi. I depositi ripullulati avevano già acquistato uno spessore di più decimetri.

679. I particolari, che abbiamo esposti, bastano, per mio avviso, a liberare interamente dal mistero la formazione di quei grandi depositi limonitici, che si ripetono, a diversi livelli, nella serie sedimentare. Il ferro in origine è un prodotto endogene. Le acque s'incaricano di trarlo alla superficie in tale copia, che non v'ha acqua, come dissi, che ne sia assolutamente sfornita. Ecco perchè non v'ha quasi roccia sedimentare, la quale non contenga una dose maggiore o minore di ferro. Quando le condizioni dei bacini erano tali, che vi si potessero generare e mantenere in copia le sostanze organiche, principalmente vegetali, il ferro vi si doveva necessariamente ammassare in gran copia, risultandone delle argille, delle sabbie, dei calcari assai ferruginosi e veri depositi limonitici.

680. Così si spiega indubbiamente l'origine dell'*iron-ore*, cioè del ferro, in forma di uronite, di ematite impura, di calibite, o ferro spatico impuro, che alterna così sovente in letti poderosi, ricchi di concrezioni, cogli strati carboniferi. Quei depositi si debbono considerare come necessarî conseguenti delle condizioni, le quali determinarono tutte le accidentalità di quei meravigliosi terreni. Abbiamo veduto in fatti, come i terreni carboniferi corrispondano in genere all'ideale di regioni maremmane, ove, per effetto dello continue oscillazioni del suolo, si rimutavano, sulla stessa area, i bassi fondi marini, le paludi e le basse terre, coperte da vergini foreste. Quando quelle aree si trovavano nelle condizioni di paludi, l'attività della vegetazione, che costituisce il tratto più caratteristico dell'epoca, doveva anche determinarvi attivissimo quel processo di secrezione, che doveva dare origine ad ammassi ingenti di ferro limaccioso. Così i letti di *iron-ore* fissano la fase paludosa delle aree carbonifere, come gli strati di carbon fossile, gli schisti, i grès, i calcari, determinano le fasi di basse terre, di litorali, di bassi fondi, di mari aperti, che si succedevano e si alternavano sulle aree stesse.

681. Io non so, se si siano fatti studî diligenti in proposito. Il poco però, che ho osservato io stesso valse, a persuadermi, che la formazione dei letti limonitici nell'epoca carbonifera (e credo poter dire in tutte le epoche del globo) è dovuta alla mutua reazione tra i vegetali, che giacevano sui fondi lacustri o marini, e le acque, arricchite di ferro, durante il loro cammino di circolazione dalle interne alle esterne re-

gioni del globo. Osservai come al centro dei nuclei di *iron-ore* s'incontrino talora assai distinti gli avanzi organici, per esempio le felci, i quali hanno determinato l'isolamento della massa ferruginosa: come, spezzando le masse schistose del terreno carbonifero, le pagine, ove si vedono distesi i vegetali che si conservano nelle collezioni, sono anche pagine distintamente ferruginose. Citerò anche il fatto dei *Lepidostrobus*, che trovai molto copiosi negli strati carboniferi di Dudley, dove ordinariamente occupano il centro di uno sferoide argillo-ferruginoso. Virlet d'Aoust (*Bull. Soc. géol.*, 2.e sér., vol. 21, pag. 198) dice di avere osservato sovente, in mezzo al carbon fossile di St. Berain (Saône-et-Loire) tronchi di *Calamites*, lunghi da 30 a 40 piedi, convertiti in ferro litoide, e conservanti ancora le tracce della loro struttura. Pare eziandio che, all'azione esercitata dalle sostanze organiche, le quali servono come di centro di attrazione, sia dovuta la formazione delle *sferosideriti*, masse di ferro argilloso, o sabbioso, la cui abbondanza caratterizza certi terreni. Il citato Virlet d'Aoust (*ib.*) ha fatto notare che le sferosideriti sono originate da uno spostamento molecolare, posteriormente al terreno che le contiene: e, citando le sferosideriti dell'*argilla di Oxford*, nota, che contengono nel loro interno, o un *Astartes* o un *Ammonites* o altro fossile.

682. Osservando come i depositi di ferro limonitico si formino attualmente a preferenza sotto le latitudini umide e fredde, nelle condizioni in cui si trova, per esempio, la Svezia; ammettendo in pari tempo che un clima universalmente torrido regnasse nelle epoche antiche, nominatamente nella carbonifera: il fatto si trova contraddire talmente alla teorica esposta, che altri proverà della difficoltà ad accettarla. Rifletto però, e Lecoq lo fa ugualmente riflettere, che i depositi limonitici attuali sono, per rapporto alle latitudini, nelle precise condizioni della torba, la quale, esclusa dalla zona torrida, domina invece nelle regioni temperate, prossime alle fredde. Ora nessuno vorrà certo negare che il carbon fossile non presenti che ammassi di vegetali sommersi, e quindi, in origine, formazioni torbose. Sarebbe quindi nel caso più logico il negare il torrido clima delle epoche primitive, che rifiutare ai letti di ferro limonitico un'origine che gli è appunto assicurata dagli ammassi di combustibile, che gli sono associati. Eppure non vi ha cosa più certa di questa: un torrido clima aver dominato durante l'epoca carbonifera, anche nelle regioni glaciali (*Parte seconda*, § 788-798). Io penso però che ogni difficoltà sarà tolta, quando le regioni tropicali, poco o nulla studiate finora, ci saranno note come le regioni temperate. La ragione può intanto, in questi come in molti casi, prevenire l'esperienza. Noi sappiamo che alla formazione del ferro limonitico, come della torba, è necessaria l'acqua, e questa permanente, cheta, stagnante. Nei climi freddi un semplice piano, anche un pendio acquitrinoso, basta per la produzione dell'uno e dell'altra, avendo luogo l'evaporazione in proporzioni così modiche, e essendo così frequenti le pioggie, che il suolo si mantiene limaccioso anche nel cuore dell'estate. Sappiamo che sui vasti piani dell'America tropicale, ove potente è l'evaporazione, e diuturne le pioggie del pari che la siccità, l'aridità del deserto si alterna colla fecondità delle irrigue pianure. Il ferro e la torba non possono quindi prodursi nelle condizioni delle nostre paludi. Ciò non toglie però che l'uno e l'altra si producano, anche sotto la zona torrida, in seno alle acque abbastanza profonde, per non essere mai assorbite dalla evaporazione. Nessuno dubita certamente che si torbifichino le ingenti cataste di legname che si accumulano alle foci del Mississipì (*Parte prima*, § 432), come vere torbiere furono scoperte traforandosi il suolo nelle vicinanze di Calcutta (*Parte seconda*, § 839), benchè quelle località oltrepassino d'assai i limiti assegnati alla formazione delle torbe (*Parte prima*, § 447).

Digitized by Google

683. Chiuderò questo importante argomento, facendo osservare, come l'epoca azoica, e in genere l'epoca delle rocce cristalline stratificate alla base dei terreni, sia, secondo Dana (*Manual*, pag. 140) l'epoca del ferro pel Nord America e per altre regioni. Nei terreni azoici d'America il ferro speculare, in enormi strati, alterna con strati amfibolici, con schisti cloritici, quarziti, ecc. In Svezia e Norvegia i letti di ferro alternano co' gneiss, colle rocce amfiboliche, cogli schisti talcosi, cloritici, argillosi, colle quarziti, coi calcari granulosi. Sarebbevi mai qui un indizio di quella vegetazione, che doveva necessariamente precedere l'epoca della animalizzazione, e di cui tuttavia non si raccolsero che dati assai scarsi?

684. Molto analoga a quella del ferro è la formazione dei depositi, ancor più imponenti, di selce. Anche la selce, come il ferro, è solubile nei vapori acquei e nell'acqua, e quindi suscettiva di essere deposta in tutte quelle forme, che sono proprie, sia delle sublimazioni, sia dei sedimenti. Abbiamo veduto come la selce, o cristallizzata in quarzo, o sotto alcuna delle forme della selce concrezionare o calcedonia, figuri fra i minerali, anzi tra le matrici, dei filoni. Le stufe e le sorgenti silicifere, di cui si hanno così numerosi esempî, bastano a rendere ragione del riempimento siliceo di tante spaccature del globo. Si aggiunge l'esperienza a di mostrare, come basti un getto di vapore acqueo, che passi attraverso rocce silicate (e lo sono per la maggior parte quelle che compongono la crosta terrestre), basti, dico, perchè si formino poderosi filoni di selce. Il signor Jeffreys, facendo passare una corrente di vapore acqueo attraverso un forno, ove si cocevano stoviglie di grès, ottenne di esportare disciolti oltre a 100 chilogrammi di selce. Molti chilogrammi di questa sostanza vidersi deposti, a modo di neve, sui materiali, dove avveniva la uscita del vapore dal forno (Lecoq, *Eaux minérales*, pag. 107). Se il vapore, per escire dal forno, avesse dovuto passare attraverso al crepaccio d'una rupe, quel crepaccio si sarebbe convertito in filone di selce.

685. Molti ammassi di selce, specialmente in forma di quarzo amorfo, si spiegano anche come semplici depositi d'infiltrazione. È questa evidentemente l'origine di tante vene di quarzo, talora assai potenti, di cui sono reticolato tutte le formazioni cristalline, specialmente i gneis ed i micaschisti. L'acqua in questi casi si è impregnata di selce, in grembo alle stesse rocce ove filtra, ed è giunta a deporla nelle cavità, ove essa veniva continuamente trasudando. Le rocce silicee sono reticolate da vene di quarzo per quella stessa ragione, per cui le masse calcaree lo sono da vene di spato.

686. Fin qui nulla di ben misterioso. Le difficoltà cominciano invece, quando consideriamo anche la selce associata, nei modi più bizzarri, ai terreni sedimentari. Veramente non v'ha nulla di strano nei sedimenti silicei, dal momento che abbiamo veduto poderosi depositi di selce prodursi attualmente dai geyser d'Islanda, dalle sorgenti delle Azore, ecc. Se poi vogliamo vedere, come questi depositi d'immediato sedimento idrotermale possano acquistare tutta la potenza d'una formazione geologica, non abbiamo che a seguire un'altra volta il signor Hochstetter nelle sue meravigliose peregrinazioni attraverso la Nuova Zelanda. Il Te-ta-rata è un geyser, meglio un *bollicame* silicifero gigantesco. Da un infossamento crateriforme, lungo 80 piedi e largo 60, ribolle un'acqua limpida, d'un bellissimo ceruleo, levandosi a gorghi, alti parecchi piedi, entro un bacino di candido cristallo. Il *Sinter*, cioè una specie di piromaca, mista d'argilla, di potassa, di soda, di magnesia e di carbonato di calce, ha incrostato il bacino, e formato un deposito di mirabile potenza. L'acqua incrostante, che mantiene ancora 84° centigradi sulle sponde del bacino,

Digitized by Google

si riversa da questo, in mezzo a nubi di vapori, a riflessi cilestrini, e si precipita dal pendio, per gettarsi nel lago Rotomahama. Su tutta la discesa, che è di 80 piedi, quella sorgente ha costrutto una meravigliosa gradinata, che direbbesi di bianco marmo. Dai margini prominenti dello gradinate pendono graziosi gruppi di stalattiti, ed i piani di essi gradini sono tempestati di limpidi stagni d'acqua cilestrina. Il complesso produce, all'occhio di chi lo vede, l'effetto d'una spumeggiante cascata, petrefatta nel parossismo de' suoi vortici volubili. Eppure il Te-ta-rata non è che uno dei cento geyser, ribollenti con cento stufe e cento bollicami, in quel maraviglioso distretto di Waikato. Basti il dire che il citato Rotomahama è un lago di acqua termale, largo un miglio e lungo tre, la cui temperatura è di 30° a 40° centigradi, mantenendosi ancora a 26° presso il suo emissario. Ma il Rotomahama non segna che un punto sopra una zona di 120 miglia, ove le sorgenti silicee sono disseminate in concorso colle altre manifestazioni della attività gaiseriana. Ognuno vede quanta potenza di depositi silicei possa spiegarsi col semplice supposto di antichi geyser, ferventi cogli antichi vulcani.

687. Formazioni gaiseriane ebbero luogo certamente in epoche antichissime. Il signor Rozet ha segnalato la collina silicea di Saint-Priest, nel bacino carbonifero di Saint-Etienne. È un cono di quarzo, formatosi durante il periodo carbonifero; tanto che si vede il grès carbonifero passare insensibilmente alla selce nera e grigia, con cavità, simili a quelle della pietra da macina (meulière), tappezzate di quarzo jalino e di baritina: la sommità è di quarzo puro. Le impronte di calamiti e di felci, analoghe a quelle del terreno carbonifero, mostrano per bene l'origine idro-termale di quella formazione (Lecoq, *Eaux minérales*, pag. 931). Così s'incrostano di selce le betulle d'Islanda, e i roseti di Saint Miguel. I celebri ammassi di pietra da macine (meulières), or ora citati, presentano tutta l'analogia cogli attuali depositi di selce gaiseriana. Consistono quelle pietre in ammassi di selce, talora compatta, più spesso cavernosa e tarlata, che si incontrano principalmente nei terreni terziari in Francia. S'incontrano ben anche in altri terreni. La *meulière* dei dipartimenti dell'Indre e del Cher appartiene all'oolite inferiore. Qualche cosa di simile, o diremo meglio d'identico, ci presenta il nostro *calcare rosso siliceo ad Aptichi*, pur dell'epoca giurese, in Lombardia, ove la selce piromaca, in nodi, in strati, in banchi, forma talora la quasi totalità d'un deposito, il quale può vantare in certi luoghi qualche centinajo di metri di potenza.

688. Anche qui tuttavia non si possono spiegare tutti gli accidenti di quelle formazioni coll'idea d'un semplice sedimento idro-termale. Merita esame sopra tutto la forma sferoidale, o concrezionare, che viene assunta sovente dalla selce nei depositi sedimentari, e che talora è l'unica sotto cui si presenti la selce stessa. La *meulière* di Meilland (Cher) consta interiormente di banchi di selce compatta o cariata, a cui si sovrappongono lembi di calcare ferruginoso, con tal numero di *Terebratule* silicizzate, da formarne una lumachella. Molte volte, ho detto, alla forma a strati si aggiunge la forma sferoidale o concrezionare. Ciò è osservato dal signor Virlet d'Aoust, il quale scrisse un'importante Memoria sulle selci e sulle concrezioni analoghe nei terreni sedimentari (*Bull. Soc. géol.*, sér. 2.ª, tom. II, pag. 198). Il deposito, ove tale associazione si verifica forse nel modo più rimarchevole, è il citato *calcare rosso siliceo ad Aptichi*. Nei dintorni del lago d'Iseo, e precisamente ad Adro e a Trescorre, questo terreno giurese è rappresentato da una massa poderosa di marna argillosa, che frana e si stempra per effetto della pioggia. La selce nera, gialla, verde, rossa, vi è interstratificata in letti e banchi irregolari assai fitti, che compenetrano

in certa guisa la marna, senza tuttavia confondersi con essa. Tale è l'aspetto generale del deposito: ma in quelle stesse località la selce si presenta pure in arnioni e sferoidi, che si svolgono dalla marna, e si ammassano a guisa di ciottoli. Presentando tutte le varietà di forme, e contenendo invariabilmente una cavità, con nocciolo di marna pulverulenta, sono ritenuti colà volgarmente frutti pietrificati

689. Come deposito, ove la selce si presenta quasi esclusivamente in forma di arnioni, basti citare la *creta bianca* di Francia e d'Inghilterra, nota al mondo intero per codesta sua problematica caratteristica.

690. Io credo che anche qui, come nei depositi di ferro, noi abbiamo il prodotto di un'azione elettro-chimica, suscitata dalla presenza delle sostanze organiche. Ragionando per analogia, la selce, come il ferro, presenta associate le due forme: la forma a strati, e la forma concrezionare. Anche la selce, sparsa in gran copia nelle acque, come ne fa fede la presenza dell'acido silicico in quasi tutte le rocce sedimentari, quando non sia in tal copia, da creare un immediato sedimento, ha bisogno di qualche cosa che metta in giuoco una forza elettiva, che attivi quella specie di processo di secrezione, per cui abbiamo veduto il ferro, stemprato in dosi infinitesimali nell'acqua, o sparso nelle rocce, adunarsi attorno a centri concrezionari. Che il supposto agente elettivo sia ancora rappresentato dalle sostanze organiche, lo si può desumere da diverse fatti.

691. Il primo fatto volgarissimo è quello, che i nodi di selce nella creta bianca contengono molto sovente polipai, echinodermi, spugne, e altri organismi, di cui la selce non forma che un rivestimento, tale però che si compenetra, e quasi si fonde, col fossile. Il signor Virlet, nella Memoria citata, accenna ad un lavoro del signor Turpin, col quale intese a mettere in luce l'influenza degli organismi nella formazione della selce, o stratificata, o concrezionare. Nei tripoli silicei, formati di organismi silicei microscopici, che crearono depositi di più metri di potenza, abbiamo un argomento validissimo per dimostrare la parte, che quegli esseri invisibili possono rappresentare nella creazione dei depositi silicei. Il signor Turpin ricorda come Ehremberg scoprì di quegli organismi nella selce semi-opale di Billin e nella piromaca di Delitzsh. Da questo fatto si può dedurre, come le selci compatte, di forma affatto inorganica, possono essere state originate da enti silicei microscopici, forse stemprati in seguito in una pasta commune. Se gli studi di Ehremberg si estendessero ad un maggior numero di selci, io credo che la presenza degli organismi diverrebbe un fatto commune. Aggiungeremo, sempre sulla testimonianza del signor Turpin, che i nodi silicei contengono sempre una quantità maggiore o minore di materia organica, particolarmente animale, a cui soltanto se ne devono il colore fosco, grigio, biondo, giallo, bruno, verdastro, e quell'odore che esala da due pezzi di selce confricati l'uno contro l'altro. Dalla perdita di quella sostanza organica deriva, secondo Turpin, lo scoloramento della selce trattata col fuoco.

692. Il signor Virlet vuole riconoscere nei diversi accidenti, presentati dalle selci, altrettanti casi di *spostamento molecolare*, per l'intervento d'una forza elettro-chimica. Non spiega poi, come gli oppose il signor Bequerel, in qual modo quella forza sia messa in giuoco; ed io credo lo sia appunto, come pel ferro, dalla presenza delle sostanze organiche. È un ultimo fatto intanto che, tra i pezzi più communi nelle collezioni figurano i fossili trasformati in ferro idrato, o in selce piromaca. Le foreste agatizzate, quella, per esempio, celeberrima del Cairo, costituiscono, parmi, un fatto parlante, decisivo, in proposito.

693. Le idee da me espresse sono, del resto, quelle di Costant Prévost, il quale, soggiungendo al signor Virlet (*loc. cit.*), osserva che, quando le selci della creta

Digitized by Google

bianca sono assai pure, la creta stessa non contiene che una dose minima di materia silicea; quando invece le selci sono impure, la creta stessa è mista di selce. Trattasi qui dunque d'una secrezione, o, come dice C. Prévost, di un afflusso della selce, *il quale fu il più delle volte determinato da corpi organici*, *che hanno agito*, *o come centri di attrazione, o semplicemente come cavità da riempirsi dopo la loro distruzione*.

694. Il *gesso*, benchè sparso in masse talora enormi, figura però sempre tra le rocce, che hanno qualche cosa di eccezionale. Egli forma in genere delle striscie o de' gruppi isolati in mezzo ai terreni sedimentari di tutte le epoche. Il gesso, per esempio, figura alla base dei terreni paleozoici in America: in Germania domina principalmente nel trias inferiore. Al trias in genere, ma più specialmente al trias superiore, sono da ascriversi le innumerevoli masse gessose delle Alpi e delle Prealpi, acquistando talora una straordinaria potenza, sicchè vuolsi, per esempio, che sul San Gottardo misuri uno spessore di 4000 piedi. Nel bacino di Parigi, e nell'Appennino, i gessi appartengono all'epoca terziaria. Un'immensa crosta gessosa copre la superficie quaternaria del Sahara; e diverse sorgenti formano attualmente un deposito gessoso. Il gesso adunque è un prodotto di tutti i tempi, e si presenta sotto due forme; quella di vero *gesso*, cristallino ed amorfo, cioè di un solfato di calce assai idrato, contenente circa 21 % di acqua, e quella di *anidrite*, o di solfato di calce anidro.

695. Qual' è l'origine di quest' importante minerale sotto le due forme? Anch'esso vanta diverse origini, salvo naturalmente a presentare gl'indizi dell' una piuttosto che dell'altra. Anzi tutto noi troviamo sorgenti gessifere, e vediamo come depositi gessosi si formino nei mari attuali. Ciò non ci permette di dubitare dell'origine prettamente sedimentare di molte masse gessose, le quali d'altronde offrono tutti i caratteri della sedimentazione. I gessi di Parigi, quelli di Stradella nell'Appennino, sono stratificati e contengono fossili in abbondanza. Distintamente stratificati mi si presentano pure talora i gessi alpini e prealpini, quelli, per esempio, di Cremeno in Valsassina; nè si può dubitare dell' origine sedimentare della crosta gessosa del Sahara. Parlando dei gessi alpini e prealpini, trovo che essi sono disposti in masse isolate, ad intervalli maggiori o minori, lungo la zona dei terreni triasici. Osservo di più che, nominatamente in Lombardia, i gessi si sostituiscono agli altri sedimenti, per esempio, alle marne variegate, senza evidente passaggio, e continuandone la stratificazione. Ciò mi ha fatto pensare a copiose sorgenti gessifere, fluenti in seno ad un mare triasico alpino, formanti ad intervalli dei depositi gessosi isolati, i quali venivano a stratificarsi in mezzo agli altri sedimenti. La stessa origine pare si debba assegnare ai gessi di Parigi, i quali si deponevano però in un bacino lacustre, involgendo reliquie d'animali terrestri, e ai gessi di Stradella, pure lacustri ed eminentemente costieri, contenendo in gran copia gli avanzi di una ricca flora terrestre.

696. L'ispezione dei mari attuali però, e più di tutto quella dei fondi marini, appena prosciugati, che noi chiamiamo deserti, ci mostra ad evidenza, come il gesso si formasse immediatamente nei bassi fondi, prossimi al prosciugamento, e vi si deponesse col cloruro di sodio e cogli altri sali marini. Qui ebbe luogo certamente un processo chimico. Ma quale?... Il signor Lodovico Frapolli espresse l'opinione che il gesso sedimentare marino si debba ai gas solfidrici, i quali esercitarono un' azione metamorfica sul carbonato di calce, esistente in gran copia nelle acque marine, il quale doveva necessariamente concentrarsi nei bacini prossimi al prosciugamento. Essa azione metamorfica si esercita, in fatti, come or ora vedremo, sui calcari a contatto delle emanazioni solfidriche. Ma donde venivano que' gas solfidrici? L'idea del

Frapolli non può valere quindi che in certi casi pratici; mentre la sedimentazione del gesso nei bassi fondi marini deve ritenersi un caso generale. Essa sedimentazione ha luogo per effetto della evaporazione, come vedremo tosto, parlando del cloruro di sodio a cui in questi casi invariabilmente si associa. Non si può negare intanto l'origine sedimentare di que' gessi. Nè nuoce al supposto la forma decisamente cristallina, presentata ordinariamente da quei gessi, poichè è provato che il gesso può deporsi nelle acque anche in tale stato. Infatti, cristalli di gesso vidersi formati nelle miniere; e basta abbandonare dell'anidrite polverizzata all'aria umida, per vedere la massa ricoprirsi di una quantità di cristalli microscopici di gesso.

697. Quanto al mostrarsi il gesso sedimentare in forma di anidrite, piuttosto che di gesso idrato, pare ciò dipenda, secondo l'opinione di Bischof, dalla pressione. Risulta, infatti, dall'esperienza, che i sali possono cristallizzarsi, con o senza acqua di cristallizzazione, secondo le diverse circostanze in cui la cristallizzazione si opera. Si può dire ad ogni modo, che lo stato normale ed originario del gesso alpino è quello dell'anidrite, la quale va trasformandosi in gesso, quando si trova verso la superficie, e può quindi facilmente imbeversi d'acqua. I pezzi di anidrite si convertono in gesso in pochi giorni (Zirkel, *Lehrb.*). Questi fatti farebbero supporre, che i grandi depositi gessosi delle Alpi si formassero per opera di sorgenti gessose, a certa profondità marina, pigliando la natura di anidrite, e che la loro conversione in gesso sia il risultato di una idratazione posteriore, avvenuta quando l'anidrite trovossi esposta all'azione della superficie. Il gesso idrato si depose invece nei mari poco profondi, che si distendevano sui deserti africani.

698. Se vi ha un gesso sedimentare, v'ha però anche un gesso che si può dire di origine vulcanica. Non lo diremo però d'origine eruttiva, essendo un prodotto di solfatara, come hanno luogo esalazioni di vapori solfidrici o produzione d'acido solforico. C'è però bisogno in questo caso della presenza della calce, che serva di base al solfato. Nelle solfatare d'Islanda si osservano dei tufi, ove generossi il gesso in cristalli, in grossi nodi, e in strati associati allo solfo. Il gesso alterna coi tufi vulcanici di Lipari (Zirkel, *ibid.*, pag 265).

699. Il gesso cristallizzato incontrasi pure tra i prodotti delle eruzioni dei vulcani di fango antichi e moderni. Pei moderni abbiamo la testimonianza del signor Abich, il quale novera il gesso tra le sostanze di cui risulta la miscela fangosa eruttata dalle salse colossali del Caspio. Per gli antichi rispondono le *argille scagliose* dell'Appennino, le quali contengono cristalli di gesso in abbondanza, e non sono, come vedremo ben tosto, altro che fanghi, eruttati da antiche salse.

700. Il gesso delle solfatare e de'vulcani di fango non è altro in fine che un gesso metamorfico, cioè originato dall'azione dei vapori solfidrici, o dell'acido solforico, sopra materiali di calce preesistenti. Il caso più evidente di tale metamorfismo è quello volgarissimo della conversione del calcare in gesso, per effetto dei vapori solfidrici, costituenti tante emanazioni gazose, o svolgentisi dalle acque minerali. Abbiamo già veduto come il gesso sia uno dei prodotti, che affermano l'attività dei soffioni boraciferi in Toscana. Il signor Coquand osservò a Selvena in Toscana una spaccatura nel calcare, le cui labbra erano convertite in gesso dai gas solfidrici, che se ne sprigionavano. Ma l'esempio più parlante è forse quello da me già accennato (*Parte prima*, § 677), e che io stesso potei osservare nella vicinanze di Tocco (Abruzzo citeriore). Sopra il calcare nummolitico, che levasi a strati quasi verticali, fino a formare i brulli dirupi della Majella, riposano le marne cloritiche del miocene, erose in guisa da formare l'altipiano, che costituisce il territorio coltivabile di Tocco. È in quel-

Digitized by Google

l'altipiano che si scoprono le sorgenti di petrolio, il quale sgorga colle acque, cariche di gas solfidrico. Osservando lo spaccato naturale delle marne mioceniche, rôse profondamente dal torrente Arollo, scopresi il gesso, associato alle marne nel modo il più irregolare e bizzarro. Esso infatti si presenta a nodi, a strisce, a filoni, e talora penetra talmente la marna, che si direbbe formare un tessuto gessoso, riempito da un parenchima marnoso. La causa di quella singolare formazione si scopre ben tosto, salendo sopra l'altipiano, sparso di campi, intristiti dalle fetenti emanazioni solfidriche, le quali, passando attraverso alle crepature, ed imbevendo, in certa guisa, le marne, prima di giungere alla superficie, vi hanno creato il gesso, per una metamorfosi del carbonato di calce. Il processo continua in un modo così visibile, che meglio forse non si verifica altrove. Infatti, ove l'emanazione solfidrica era più concentrata, ho potuto raccogliere de'ciottoli, che io conservo come testimonî di un fragrante attuale metamorfismo. Que'ciottoli sono coperti alla superficie di una crosta di solfo efflorescente, quindi da una crosta di gesso più o meno spessa. Spezzando il ciottolo lo si trova costituito di calcare compatto, in cui si riconosce il calcare nummolitico, il cui detrito è sparso sull'altipiano. Qui si rende dunque evidente che le emanazioni solfidriche, investendo il calcare, hanno virtù di trasformarlo in gesso. In questo processo una parte del solfo, rimanendo libera, si depone, allo stato pulverulento sulla superficie del calcare.

701. La frequente associazione del gesso col *salgemma* ci conduce naturalmente a trattenerci di questo secondo prodotto minerale, il quale, figurando anch'esso tra gli eccezionali componenti della crosta terrestre, non lascia però di presentare talora singolare sviluppo, vantando tali masse, che emulano le formazioni geologiche più imponenti.

702. Il *cloruro di sodio*, detto volgarmente salgemma, è il più solubile tra i minerali che compongono delle masse d'un volume considerevole. La sua origine acquea dev'esser quindi la meno dubbiosa; come non v'ha dubbio che egli possa, in circostanze favorevoli, formare dei sedimenti. Sappiamo tuttavia come il cloruro di sodio sia così abbondantemente sublimato dalle fumajole vulcaniche, che talvolta le correnti di lava si coprono d'una efflorescenza salina. Sappiamo del pari come il cloruro di sodio figuri, forse invariabilmente, nelle salse; per cui salati riescono i fanghi eruttati dalle salse stesse. Non sarebbe meraviglia quindi che il cloruro di sodio formasse de'filoni, come si pensa da taluni per riguardo a certi depositi di sale (*Parte seconda*, § 33). Parlandosi però di grandi depositi di salgemma, io sono ora più che mai disposto a credere che non si possa loro assegnare altra origine che la sedimentare.

703. I grandi depositi di salgemma presentano infatti tutti i caratteri di un sedimento, che occupi delle aree relativamente ristrette, o, come direbbesi, dei bacini, entrando regolarmente, benchè localmente, a far parte della serie stratigrafica. Il salgemma anzitutto è a strati, e talora la stratificazione è regolarissima, formando talvolta delle masse pure, stratificate, di spessore enorme; altre volte invece alterna con strati rocciosi, col gesso, colle argille, colle marne, colle dolomie. Qualche volta le sostanze rocciose, specialmente le argille, si mescolano al salgemma, fino a divenir prevalenti nella massa, ed a risultarne un vero fango salato. I grandi depositi di sale, che si scavano sui confini fra l'Austria e la Baviera, nelle vicinanze di Salzburg, non mi presentarono altro infatti che ammassi di argille, di sabbie, di breccie, impastate di sale, il quale talvolta si isola in strisce e in masse cristalline di potenza mediocrissima. Benchè le formazioni salifere, e specialmente gli strati di salgemma,

siano caratterizzati dall'assenza d'ogni indizio di vita, non ci mancano tuttavia depositi salini fossiliferi, abbastanza ricchi d' una fauna e d' una flora, che accusano in genere bacini interclusi, acque basse e limacciose. I signori Marcel De Serres e Joly trovarono nel salgemma di Cardona in Catalogna (da alcuni ritenuto eruttivo, od almeno endogeno) infusori, monadi e bacillarie. Osservarono anzi come da quegli animaletti dipendesse il vario colore del salgemma, essendo essi bianchi nella prima età, verdi dappoi, e finalmente rossi nell' età più tarda. Gli stessi infusorî si scoprivano anche nelle marne che soggiacciono al gessi. Resti d' infusorî furono pure osservati da Schaafhäutl nel salgemma delle Alpi. Anche il celebre salgemma di Wieliczka, presso Cracovia, contiene foraminifere, conchiglie, coralli e crostacei. Lo stesso deposito è talvolta così ricco di piante carbonizzate, che lo chiamarono *sale carbonifero*. Lo stesso fenomeno è presentato dal salgemma di Bochnia in Galizia, ove, ai legni carbonizzati, alle noci, agli stroboli di conifere, si associano denti di squalo (Zirkel, *Lehrb.* I., pag. 181).

704. Quale è mai l'origine di quei depositi? Noi abbiamo già ripetutamente risposto a un tale quesito; ma così di volo, che credo necessario un ritorno su questo importante argomento. Comincio a ripetere che una sedimentazione di sal marino sul fondo dei mari dev'essere, nelle condizioni normali, una cosa, non solo difficile, ma impossibile. Ognun sa quanto il sal marino sia solubile, e quale enorme quantità si richiede, perchè l'acqua sia portata allo stato di saturazione. L'acqua infatti non è satura che quando contenga il 27 % di cloruro di sodio: ora l' acqua marina non ne contiene che circa 30 millesimi. L' uomo ha però già trovato un modo semplicissimo d'impadronirsi del cloruro di sodio allo stato cristallino, cavandolo appunto dall'acqua del mare. L'artificio consiste semplicemente nell'isolare in parziali bacini l' acqua del mare, mantenendo, tra il bacino isolato e il mare, quel tanto di communicazione, che basti a rimettere nel bacino isolato una quantità d' acqua, pari a quella, che va dal bacino stesso svaporando Così l' acqua più densa di sale si raccoglie sul fondo del bacino, finchè tutta l' acqua del bacino sia satura, e cominci a deporre il sale cristallizzato. Non può egli darsi che la natura abbia già posto in opera un artificio così semplice, per metterci in serbo quei provvidenziali ammassi di salgemma, che noi andiamo ora scavando nelle viscere della terra? Chi ha appena compreso quel sistema di continue oscillazioni, per cui rimutossi incessantemente la superficie del globo, troverà che la cosa, non solo poteva, ma doveva avverarsi, e ripetersi chi sa quante volte? È impossibile infatti immaginare, che i fondi marini si alzino e si abbassino, che le terre emergano e si sommorgano, che i mari ora invadano le aree continentali, ora ne siano respinti, è impossibile, dico, che si avverassero tante centinaja di oscillazioni, senza che ne risultassero, a volte a volte, de'bacini interclusi, i quali, o mantenessero coll'Oceano, a guisa delle *saline*, una communicazione appena superficiale, ovvero si trovassero totalmente isolati entro terra, sicchè in ogni modo si verificasse la saturazione, quindi la sedimentazione del sale, fino, se fa d' uopo, al totale prosciugamento del bacino, cioè alla sua conversione in un banco di sale.

705. Ciò si concilia benissimo, come osserva Maury (*Géographie de la mer*, § 565), con quel sistema di economia provvidenziale, per cui s'intrattiene la vita del globo, mediante un intreccio di artificî compensatori. I coralli, in pieno vigore di vita nell' epoca siluriana, ci dicono come il mare si trovasse allora approssimativamente in quelle condizioni che sono attualmente così propizie al loro sviluppo. Era già dunque, fin da quell'epoca, ricco di que' sali, di cui i coralli si costruiscono, per assimilazione, i meravigliosi edificî. Ma come poteva il mare conservare le istesse condi-

zioni, quindi lo stesso grado di salsedine, per tanto giro di secoli, dall'epoca siluriana fino a noi; mentre in tutti i tempi il mondo de' coralli lavorò a fissare i sali, liberandone le acque, e tali moli erigendo, che si può dire siano, in gran parte, prodotto del loro lavoro i continenti, che a suo tempo sorsero dai mari? Noi abbiamo già ammirato codesto magistero di compensazione. I venti promovono l'evaporazione alla superficie dei mari. Mentre i sali condensati sono fissati dai coralli, e da tutti gli animali secretori di sostanze lapidee; i vapori, liberi e raddolciti, si levano nei campi dell'atmosfera. Ma gli stessi vapori, conversi in pioggia, si riversano sui continenti, e riportano i sali al mare. Così la salsedine marina nè si accresce nè si diminuisce; così, mentre si rimutano le terre ed i mari, sulle terre e sui mari si mantengono le condizioni della vita.

706. Tutto ciò corre benissimo, finchè si parla di certi sali, principalmente del carbonato di calce, che vengono assimilitati in gran copia dagli organismi secretori. La cosa cambia invece d'aspetto, se parliamo del cloruro di sodio, il quale è assimilato dagli animali in quantità tenuissima. E notate, come osserva Bischof, che il carbonato di calce è quasi tra i sali marini il meno abbondante, non trovandovisi che in dose di 0,0001, mentre il cloruro di sodio vi si scopre in dose 250 volte maggiore. E la sua tenuità deve appunto attribuirsi al lavoro dei coralli, delle conchiglie, ecc., mentre esso è il sale, di cui sono ricche universalmente le sorgenti, e le acque tutte, che si riversano dai continenti nei mari; mentre gli altri sali non vi si scoprono che in via di eccezione. Supponendo anche che i polipai avessero potuto assimilare il cloruro di sodio, si sarebbero costrutti degli edificî solubili, i quali si sarebbero ben tosto disciolti nell'acqua. Ciò che diciamo del cloruro di sodio, ripetasi di altri sali marini, per esempio del cloruro di magnesio e del solfato di magnesio. Bisognava pertanto ricorrere ad un altro artificio, perchè fosse tolto dalle acque marine quell'eccesso di sali solubili, per cui vediamo esclusa la vita dal Mar Morto e dai bacini salati dei deserti.

707. Artificio semplicissimo era questo d'isolare tratto tratto dei gran corpi d'acqua salata, svaporarla, perchè tornasse raddolcita all'Oceano, ed i sali rimanessero asciutti fuori del mare. E così fu fatto. Le formazioni salifere rispondono, in genere, all'ideale di bassi fondi, o meglio ancora di bacini interclusi. Noi abbiam veduto infatti come, al libero mare del *periodo del Niagara* (*Parte seconda*, § 887), succedano le acque torbide e salate in eccesso del *gruppo salino di Onondaga*, ove quasi si spegne la vita (*Parte seconda*, § 886). Ma più ancora parlanti in proposito sono i depositi del trias. Si può dire che questi terreni ci presentino sulle nostre aree continentali lo spettacolo generale di bassi fondi, di bacini interclusi, ove si spegneva la vita, ove si condensavano o si accumulavano que' sali, per cui que' terreni furono detti per eccellenza *saliferi*. Caratteristici sono sopra tutto i due grandi bacini triasici del Nord-America, conversi in regioni di bassi fondi e di Caspî. Abbiamo veduto che un vero Caspio, salato in eccesso, ci presenta la *regione accidentale interna* (*Parte seconda*, § 703), ove altri indizî di vita non appajono, se non le orme degli uccelli, erranti come gli struzzi del deserto, e dei mostruosi *Labyrinthodon*, che, con un mondo di rettili, frequentavano i lidi pantanosi dell'immenso stagno. L'Europa del pari che l'America presentano quello strano spettacolo; e le enormi masse di salgemma, di gesso, e di altri sali marini, interstratificate ai terreni triasici, accusano altrettanti laghi conversi in vere saline, come i celebri laghi salati, che numerosi si scoprono nell'interno dell'Africa e dell'Asia.

708. La stessa associazione del cloruro di sodio agli altri sali, che pur con lui

sono disciolti nell' acqua marina, proclama altamente questo vero, che i banchi di salgemma non sono in genere che porzioni d'antichi mari isolati ed evaporati. Sappiamo infatti, e lo vedremo meglio ben tosto, come il solfato di calce. il solfato di magnesia, il cloruro di magnesio, ecc., sono gl' inseparabili compagni del salgemma. Abbiamo già detto, e nessuno può negarlo, che, se venisse sbarrato lo stretto, per cui il Mar rosso comunica coll'Oceano, quell'immenso bacino, a cui sono quasi ignote le piogge, si convertirebbe in un gran banco di sale. Perchè scompaja lo stretto, basterebbe la minima di quelle oscillazioni, per cui si rimutarono le mille volte le terre e i mari.

709. A migliore dilucidazione della tesi, ci giovi interrogare più davvicino il fenomeno; vedere come avrebbe luogo, nei particolari, la formazione salina in un bacino isolato dal mare, e veder quindi, se le condizioni geologiche dei depositi di salgemma, rispondano all'origine supposta. Un modo facile per interrogar la natura ci è offerto dalle saline artificiali, ove l'uomo pratica, per l'economia propria, quello che la natura ha già praticato, per l'economia dell'universo. Mi restringo ai fenomeni principali, che avvengono nell' operazione chimica del salinaggio, attenendomi al *Corso elementare di chimica* del Regnault.

Primo a deporsi è il carbonato di calce, che abbiam visto contenersi in quantità minima nelle acque del mare. Quando l'acqua segna da 15.° a 18.° all'areometro, si depone una quantità considerevole di solfato di calce, che presenta la composizione e la forma cristallina del gesso. Il deposito di questo solfato continua, finchè, a 25.° dell'areometro, l'acqua ne rimane interamente spoglia. Questo avviene perchè il solfato di calce, notabilmente solubile nell' acqua pura, diviene insolubile in una soluzione di solfato di magnesia, cui le acque concentrate contengono difatti in gran copia. Qui comincia a depositarsi in cristalli il sal marino, formando uno strato, che va aumentando di spessore, mano mano che si compie l'evaporazione. Il sale, che si depone, è purissimo; ma la sua purezza comincia a guastarsi, quando il volume dell' acqua è assai ridotto. Le *acque-madri*, cioè le acque che rimangono, quando il sale marino si è deposto in tutta la sua purezza, contengono concentrati gli altri sali solubili, i quali vengono a deporsi col sal marino, e lo rendono impuro. Gli è per ciò che nella fabbricazione del sale si ha cura di rigettare per tempo le acque madri, per ottenere il sal marino nella sua maggiore purezza. Quando le acque madri segnano 30.° all'areometro, contengono, su 100 parti.

Cloruro di magnesio	16,6
Cloruro di sodio	4,6
Solfato di magnesia	2,0

710. La concentrazione delle acque madri continuata produce, durante il giorno, e *per evaporazione*, un deposito di sal marino quasi puro; durante la notte, *per raffreddamento*, un deposito di solfato di magnesia. Ne risulta uno strato, composto di cristalli di sal marino, cementato dal solfato di magnesia. Se la temperatura dell' aria si abbassa bruscamente fino a 10°, si depone una quantità considerevole di solfato di magnesia puro.

711. Quando la concentrazione delle acque le fa segnare 34° all' areometro, comincia a deporsi del solfato di potassa, allo stato di sale doppio magnesiaco, ed il deposito del sal marino cessa quasi interamente. Nel punto che le acque madri segnano 36°, abbandonano un cloruro doppio di potassio e di magnesio: e quando

giungono a segnare 40° non contengono ormai più che del cloruro di magnesio, il quale si depone, in cristalli voluminosi, ad una temperatura prossima a 0°. Conchiudendo, una *salina* che si lasciasse prosciugare interamente per evaporazione, dovrebbe offrire questa serie stratigrafica ascendente:

1.° Un debolissimo strato di carbonato di calce;
2.° Uno strato di solfato di calce;
3.° Uno strato proporzionatamente assai considerevole di sal marino puro;
4.° Uno strato di sal marino reso impuro dai sali magnesiaci;
5.° Solfato di magnesia misto a sal marino, o solfato di magnesia puro;
6.° Doppio solfato di potassio magnesiaco;
7.° Doppio cloruro di potassio e di magnesio;
8.° Cloruro di magnesia.

* **712.** Passando all'osservazione dei depositi di salgemma, interstratificati nelle diverse formazioni, per vedere, se la loro costituzione corrisponde all'ideale del prosciugamento per evaporazione di una *salina* naturale; rifletteremo primieramente, essere estremamente scarse le osservazioni finora raccolte in proposito. I cavatori del salgemma non vanno certo divagandosi entro i depositi associati al puro salgemma, la cui estrazione unicamente hanno di mira. Rifletteremo in secondo luogo che la natura è varia, troppo più che l'arte, ne' suoi processi. Pensate alle infinite diversità di condizioni, in cui dovevano trovarsi le supposte saline naturali. La maggiore o minore profondità delle acque, l'isolamento parziale piuttosto che assoluto, le oscillazioni che poterono alterare più volte le condizioni del bacino, le diverse condizioni di temperatura e di clima, la presenza o l'assenza di confluenti, la natura del fondo ove erano raccolte le acque, l'invasione dei detriti alluvionali, l'associazione possibile di estranei agenti, come di sorgenti termo-minerali, di emanazioni gazose, di salse, di vulcani; tutte queste e cento altre eventualità dovettero influire a modificare, ad improntare in cento modi diversi, i depositi salini. Ci basterà quindi di trovare un certo numero, ed un certo grado, di analogie tra le saline artificiali ed i depositi di salgemma, attendendo da futuri studî la risposta a maggiori esigenze.

713. Per la tesi che sosteniamo sta intanto il fatto, che, ai depositi di salgemma noi troviamo, può dirsi, associati invariabilmente il solfato di calce ed i sali caratteristici delle acque madri. Gli esempî che noi potremmo addurre in proposito non ci direbbero quasi nulla di più di quanto abbiamo annunciato come fatto generale. Non mancheremo tuttavia di richiamare un esempio altre volte citato (Parte II, § 36), ma così decisivo, nella questione che ci occupa, da valer la pena di esporlo con maggiori particolari. Parlo del celebre deposito di salgemma a Stassfurt, presso Magdeburg.

714. Quel celebre deposito appartiene all'*arenaria variegata*. Esso, stando alla descrizione di Bischof, presenta uno spessore complessivo di 1035 piedi, e può essere diviso, stando alla sua chimica composizione, in quattro parti. La prima, cominciando dal basso, consiste in un giacimento poderoso di circa 800 piedi di puro salgemma, diviso nettamente in strati dello spessore di 1 a 6 pollici, corrispondendo a ciascuna divisione una striscia di anidrite, la quale raggiunge al massimo lo spessore di $^1/_4$ di pollice. Sopra quell'ingente ammasso di sale riposa un'altra massa di salgemma impuro, dello spessore di 113 piedi. Il deposito, senza aver perduto i caratteri specifici del salgemma, è però già misto di altri sali solubili. Anche questa seconda massa è stratificata: ma non è più l'anidrite che divide gli strati, ma la

polialite (Polyhalite), una combinazione di solfato di calce, di solfato di magnesia e di potassa. Segue un letto, dello spessore di 120 piedi, nel quale al salgemma si uniscono combinazioni sulfuree. Il quarto ed ultimo deposito finalmente ha uno spessore di 80 piedi, e consta di una miscela varicolore di salgemma, solfati di magnesia, e solfati di potassa deliquescenti. I quattro depositi non vantano limiti ben determinati, verificandosi invece fra loro delle insensibili transizioni.

715. Se il deposito di Stassfurt non presenta alla lettera le condizioni d'una salina artificiale, quali ci vennero descritto da Regnault, vi si approssima tanto, che, tenendo calcolo della variabilità delle condizioni, in cui dovette operare la natura, per un lasso di tempo enormemente lungo, c'è piuttosto a meravigliare di tanta somiglianza, che di sì poca differenza. Il sal marino e il solfato di calce sono i primi a deporsi, e li troviamo associati nelle debite proporzioni. Il relativo spessore degli strati di salgemma e degli strati di anidrite è in ottimo rapporto colle quantità relative del cloruro di sodio e del solfato di calce, contenuti attualmente nell'acqua marina, potendosi stabilire, sia sulla potenza degli strati, sia sulla quantità disciolta nelle acque marine, la proporzione approssimativa di 1 : 24. Da ciò risulterebbe anche l'importante corollario, che la salsedine marina in quegli antichissimi tempi toccava approssimativamente allo stesso grado che in oggi. Nella gran salina di Stassfurt però quel processo iniziale, per cui l'acqua si spoglia dapprima del solfato di calce, e quindi depone il puro sal gemma, si sarebbe ripetuto le cento, le mille volte, formando altrettanti strati alternanti di anidrite e di sal gemma. Perchè questo avvenisse nelle saline basterebbe far sì, che quando le acque madri segnano 30° all'areometro, si aggiungesse tanto di nuova acqua marina, da segnare da 15° a 18° (§ 709). Un sistema di oscillazioni, opportunamente ordinato, poteva avere per conseguenza questa rinnovazione delle acque nel bacino intercluso, o direbbesi nel Caspio di Stassfurt: nè altro processo fu messo in opera dalla natura, se ben vi ricordate, perchè si sovraponessero cento e cento foreste, trasformate in altrettanti strati di carbon fossile (Parte II, § 839).

716. Al deposito di puro salgemma succede nelle saline artificiali il deporsi dei solfati di magnesia e di potassa misti al sal marino. Il deposito, che a Stassfurt sovrincumbe al puro salgemma, è ancora il salgemma, ma reso impuro dai solfati di magnesia e di potassa. Anche qui la stratificazione alternante indicherebbe un rinnovarsi delle acque, ma non in tanta copia, che l'areometro segnasse al di sotto di 34° a 36° (§ 711), per cui non fosse interrotto il depositarsi dei solfati. Osservo soltanto che il rinnovamento delle acque, in qualunque proporzione si avverasse, rimetteva nel bacino delle acque madri una certa quantità di sal marino e di solfato di calce: trovo quindi assai naturale che ai solfati di magnesia ed ai doppî solfati di potassio magnesiaco vedasi sostituita la polialite, ossia un solfato di calce, di magnesia e di potassa. I depositi superiori tradiscono ancor meglio la natura delle acque madri, dove abbondano i solfati di magnesia e di potassa deliquescenti.

717. Ho detto che la stratificazione alternante del deposito di Stassfurt sembra rivelarci quel sistema di depressioni, che la natura avrebbe messo in opera, con consiglio tutto provvidenziale, per sovrapporre ed accumulare nei magazzeni tellurici tanto gli strati di carbon fossile quanto i letti di salgemma. Ciò non riguarda solo il deposito di Stassfurt, ma la maggior parte dei depositi di salgemma, i quali si mostrano ugualmente stratificati, e si ripetono, come i letti di carbon fossile, a grandi intervalli. Il celebre salgemma di Northwich è diviso in due grandi banchi, che vantano ciascuno forse 100 piedi di spessore: tre se ne contano a Lawton, e cinque

nelle vicinanze di Droidwich. Presso Petoncourt si conoscono sei giacimenti, e presso Dieuze tredici, che vantano complessivamente 155 piedi di potenza (Zirkel, *Lehrb. I*, pag. 185).

718. Trattandosi d'un artificio compensatore, ordinato a mantenere in seno ai mari le condizioni della vita, doveva naturalmente praticarsi in tutte le epoche della animalizzazione. La cronologia del salgemma risponde mirabilmente col fatto all'induzione. Caviamo dal *Lehrbuch* di Zirkel i seguenti particolari.

719. Il sale, misto a gesso ed argilla, è sparso in copia nei terreni siluriani degli Stati Uniti. Un gran banco scoperto nella Virginia, di cui non si trovarono i limiti, benchè fosse traforato per lo spessore di 186 piedi, appartiene ai terreni antichissimi, siluriano o devoniano. Nella stessa regione il sal gemma si ripete anche nel *sub-carbonifero*, col solito accompagnamento di gessi, argille, marne rosse, ecc. Lo Zechstein di Thuringia contiene il salgemma compatto sotto una massa poderosa di gesso. Dalle marne permiane delle steppe dei Kirghisi affiora una massa colossale di salgemma, di bianchezza abbagliante, imitando un ghiacciajo.

720. I terreni conosciuti come più ricchi di sale sono quelli del trias. Molti giacimenti di salgemma sono noti come appartenenti al Buntersandstein nel Branschweig, nell'Hannover, in Sassonia, nel Salzburg e nel Tirolo. Anche il Muschelkalk (trias medio) di Germania numera molti giacimenti di salgemma. Ma salifero per eccellenza è il Keuper (trias superiore), che vanta gli stupendi depositi di Northwich in Inghilterra, di Vic e Dieuze in Francia, di Beks in Svizzera. Il salgemma è finora sconosciuto all'epoca giurese, ma abbonda col gesso nella creta di Algeria. Abbondantissimo, come nel trias, si fa invece di nuovo nei terreni terziarî. Al periodo nummulitico si riporta il grandioso deposito di Cardona in Catalogna, e si ritengono in genere come terziarî i depositi di Sicilia e dell'Appennino.

721. Quanto avvenne anteriormente all'epoca nostra si ripete oggi a grande scala sotto gli occhi nostri. Innumerevoli sono i bacini interclusi, tra cui si novera nientemeno che il Caspio emulo dei mari. Ma non tutti i bacini interclusi sono in condizioni da convertirsi in saline, essendo necessario per questo che non abbiano emissario, e che le acque dolci, recate dalle pioggie e dagli affluenti, sommino una quantità minore delle acque salate, che si vanno evaporando in quegli isolati bacini. Ma tali condizioni si verificano appunto per una gran parte di essi; e per ciò udiamo dai viaggiatori narrarsi maraviglie dei Laghi salati che, chiusi in seno ai deserti dell'Africa o dell'Asia, in regioni di siccità, svaporano, come le saline, sotto la vampa del sole. La provincia d'Algeri ci offre nel lago Zagrés il più squisito esempio di una salina naturale, ove il processo del salinaggio è già molto avanzato. Ecco come è descritto dall'ing. Enrico Fournel. « Nell'aprile 1844 il lago Zagrés era interamente ricoperto da un'immensa crosta di sale, la cui superficie, liscia come quella d'uno specchio, aveva prodotto da lontano l'illusione perfetta d'un velo d'acqua. La crosta, assai sottile presso il margine, acquistava ben tosto un tale spessore da sopportare, senza spezzarsi, il peso dei cavalli. Più in dentro lo spessore della crosta era di 0,^{m}33 ed andava crescendo, finchè nelle parti centrali del lago giungeva a 0,^{m}70. In tutta l'estensione della massa quel sale era totalmente puro da materie straniere, bianchissimo, e di qualità eccellente. Il lago Zagrés vanta almeno 12 leghe di lunghezza, ed in media 2 di larghezza. Contiene 127 milioni di metri cubici di sale, ossia più di 2 miliardi e mezzo di quintali metrici, i quali non esigono lavoro di sorta per essere di là esportati (Lecoq, *Les eaux minérales*, pag. 175) ».

722. Un esempio degli accidenti che devono accompagnare il depositarsi de' sali

nei bacini interclusi, soggetti alle invasioni degli affluenti, e quindi alla formazione di depositi detritici, ce l'offre attualmente il Mar Morto, quale è descritto, con molti particolari, da Bischof (*Lehrb.*, pag. 11). Il sal marino, il quale si depose, e continua a deporsi sul fondo di quel vasto stagno, si accompagna contemporaneamente al carbonato di calce, recatovi dagli affluenti. Nella primavera, quando gli affluenti sono intorbidati dal fango calcare ed argilloso tenuto in sospensione, non si formano che sedimenti detritici, rimanendo impedito il deporsi del sale dalla quantità di acque dolci che si riversano in quel bacino. Durante la calda stagione invece si formano i depositi chimici di sal marino, e di carbonato di calce; ma anche questi possono essere più o meno puri, più o meno ricchi, secondo che le piogge riescono, anche in questa stagione, ad intorbidare più o meno gli affluenti. Così si crea un'alternanza di strati detritici, e di strati salini più o meno puri, che richiama, p. e., il gran deposito salino di Hall in Tirolo.

723. Potremmo moltiplicare gli esempî, ma non troppo utilmente, potendo ciascuno immaginare, quante accidentalità potranno nel caso invocarsi, per spiegare le speciali condizioni di ciascun deposito di salgemma. Non si può intanto negare che abbia avuto luogo in passato quella separazione di bacini, che si vede adoperata a grande scala anche ai nostri giorni. Il Sahara non è altro in fine, come abbiamo dimostrato, che un gran mare prosciugato in epoca recentissima. Al sollevamento di quell'immensa superficie si deve la sua interclusione, a produrre la quale però contribuirono anche le dune e gli apparati littorali, che eressero una barriera tra le interne depressioni sahariane ed il Mare Mediterraneo. Il fenomeno, per questa seconda parte, riesce almeno evidentissimo per quella porzione dei deserti africani, che forma l'Istmo di Suez. Quell'immensa depressione, la quale, benchè quasi totalmente asciutta, porta il nome di Laghi Amari, non è altro in fine che un braccio di mare, uno stretto, per cui il Mediterraneo communicava col Mar Rosso, e venne dall'uno e dall'altro separato, in forma di vasta laguna, per effetto degli apparati littorali. Le conchiglie, sparse a profusione nelle parti più depresse e meglio conservate di quel bacino, ne attestano il recente prosciugamento. Ma più di tutto valgono gli spaccati, messi a nudo dalla grande operazione del taglio dell'Istmo, a provare, come quella vasta regione non presenti che una salina, o meglio un sistema di saline, interamente prosciugate per evaporazione. All'ultima Esposizione di Parigi (1867) si ammirava un grosso prisma di purissimo sale, dell'altezza di circa 2^{m},50, tagliato verticalmente, diceva la scritta, nel banco del sale, che esiste nel fondo del bacino dei Laghi Amari, il cui spessore medio sorpassa l'altezza di quel saggio. Il gesso, il solfato di magnesia vi abbondano pure.

724. È lo spettacolo del resto che presentano tutti i deserti, a tal punto che si credette di dover indicare, coi nomi particolari di *sale dei deserti* o *sale delle steppe*, quei giacimenti superficiali di sale marino, che si può dire incrostino tutti i deserti del globo; appunto perchè tutti i deserti del globo si possono chiamare altrettanti bacini separati, altrettanti fondi marini prosciugati. Come di sale sono ricchi il Sahara, i deserti dell'Arabia e dell'Asia centrale, e le steppe dei Kirghisi; lo sono del pari i piani sterminati dell'America meridionale.

725. Passiamo allo solfo, minerale importantissimo, che presenta delle analogie coi precedenti, ed è anch'esso un prodotto poligenico, che si presenta talora in depositi molto considerevoli. La questione d'origine può divenire una questione di valore industriale, tanto più per noi, in quanto si può dire essere sola l'Italia che fornisce lo solfo alle parti più civili e più industriali d'Europa.

726. Nulla di più facile, a prima vista, che lo spiegare la genesi del solfo e delle solfare. Le sorgenti minerali di continuo lo depongono; i getti di gas solfidrico, disseminati copiosamente in tutto il globo, ne rivestono le rocce che incontrano sulla loro via; i vulcani lo sublimano sulle pareti de' fumajoli; le solfatare lo segregano talora in gran copia. Eppure pochi argomenti sono così vergini di studî, e i più grandi depositi di solfo, generati in tempi anteriori ai nostri, p. e. le grandi solfatare di Sicilia, si presentano ancora come problemi insoluti.

727. Il solfo è un prodotto eminentemente endogene; questo lo sappiamo. Alcuni credettero ad eruzioni di liquido solfo, volendo con questo spiegare certi ammassi di solfo cristallino, che riempiono talora i vani delle rocce. Ma Bischof ci fa sentire come non può ammettersi allo stato libero, a certe profondità e temperature anche mediocri, un minerale, di cui è nota l'affinità, direbbesi universale, con quasi tutte le sostanze telluriche. Anche la cristallizzazione del solfo nativo è affatto diversa da quella, che si ottiene operandosi la fusione. Dal complesso dei fatti pare risulti, che lo solfo libero non si ha in natura, che per via della scomposizione dei minerali che lo contengono in combinazione. Ma fra tutte le combinazioni primeggia, come generatore del solfo, il gas solfidrico. È infatti questo gas, che dalle viscere della terra, si svolge alla superficie, od allo stato di semplice emanazione gazosa, od associato alle acque circolanti, od in consorzio coi vapori e coi gas, che caratterizzano la *fase di semplice emanazione* de' vulcani, ossia le solfatare. In questi casi la deposizione del solfo avviene evidentemente per effetto della scomposizione del gas solfidrico, a contatto dell'aria, o di una roccia, che agisce sui componenti il gas solfidrico, e se li appropria, lasciando libera una parte dello solfo. Questo processo si verifica in tutti i casi di sviluppo del gas solfidrico alla superficie del globo; ma il deposito di solfo, che ne è la conseguenza, si presenta sotto forme diverse, secondo le diverse circostanze, in cui il processo si verifica.

728. Primieramente il solfo è deposto talora abbondantemente dalle acque sulfuree, in forma di *solfo termogene*. È un solfo fragile, poroso, leggero, giallo o verde, talora quasi puro, talora misto ad altre sostanze. È così possibile un vero sedimento, simile a quello del gesso, del ferro, ecc. Io credo però, che il solfo sedimentare non possa formarsi pel semplice fatto della presenza del gas solfidrico nell'acqua; ma che siavi bisogno di una qualche sostanza, presente nelle acque, e che possa agire, o immediatamente sul gas solfidrico, operandone la scomposizione, o sulle diverse combinazioni, principalmente sui solfati di ferro, di calce, ecc., che si trovino per avventura disciolti nelle acque. Tale agente scompositore io lo credo ancora rappresentato, come pel ferro e la selce sedimentari, dalle sostanze organiche. I più bei saggi di solfo termogene che io m'abbia visti, sono incrostazioni di vegetali. Del resto è nota l'influenza della sostanze organiche sulla formazione del solfo. Se ricordate l'esperienza casuale di Pepys (*Parte prima*, § 373), avrete presente, che tra i prodotti della reazione promossa dalla presenza di un topo in una soluzione di solfato di ferro, figura anche il solfo libero, in forma di polvere gialla. Negli strati terziari gessosi di Ternel, in Aragona, si scoprono a migliaja le conchiglie dei *Planorbis* ed i semi di *Chara* convertiti in solfo. Come si spiegherebbe altrimenti quella conversione, se non ammettendo, che quegli organismi esercitassero una reazione sul gesso, che si veniva deponendo su que' fondi lacustri? una reazione simile a quella, per cui vedemmo i vegetali, conversi in ferro limonitico, presentare un caso di trasformazione elettro-chimica. Anche il solfo è un minerale da palude, e si depone abbondante, sempre inteso che egli si trovi presente nelle acque, allo stato di qualche com-

binazione. Bischof ci dice frequente il caso della produzione del solfo nelle torbiere. Presso Lubin (tre miglia da Lemberg) trovossi che una polla d'acqua, fetente di gas solfidrico, formante uno stagno in mezzo alla torba, aveva adunato un cumulo di 500 quintali di solfo (Bischof, *Lehrb.* I, pag. 859).

729. Prescindendo dalla presenza delle sostanze organiche, o di altri corpi che possono provocare analoghe reazioni, sarà impossibile la formazione del solfo termogeno o sedimentare. Parlandosi poi semplicemente del gas solfidrico, noi vediamo come si svolga da mille sorgenti, senza che si mostri alcuna traccia di solfo sedimentare. Il gas solfidrico stesso, che si svolge coi vapori a contatto coll'atmosfera, dà luogo invece ad una reazione, di cui non so se alcuno abbia ben penetrata la natura, ma che si afferma colla creazione dello solfo libero, sublimato talora in grandi ammassi. Narra Bischof come, levandosi la grossa pietra che copriva la *Sorgente dell'Imperatore* (Kaiserquello) ad Aachen, da cui si svolge il gas solfidrico, scoprissi un ammasso di due quintali di solfo prodotto di 20 anni di sublimazione. Notisi che, tra i gas emanati da quella sorgente, il solfidrico non figura che in quantità di 0,31 per 100 (Bischof, *Lehrb. I*, pag. 858). Il signor Fillhol, trovandosi a Bagnères de Luchon quando si demolivano gli antichi serbatoi, potè raccogliere sotto le loro vôlte, dove l'acqua non era mai giunta, un'enorme quantità di solfo. Le acque di Bagnères de Luchon lasciano sfuggire dell'acido solfidrico, quando si riscaldano; per cui, dice Fillhol, è naturale il pensare, che quei depositi di solfo devono la loro origine alla decomposizione del gas solfidrico operato dall'ossigeno dell'aria. L'aria penetra, continua egli, in quantità troppo debole entro i serbatoi, per poter abbruciare i due elementi dell'acido solfidrico. Brucia quindi soltanto il più combustibile, cioè l'idrogene, e lascia quindi libero il solfo (Lecoq, *Les eaux minérales*, pag. 55).

730. Ognun vede come i gas solfidrici, in concorso coi vapori acquei, possono formare ricchi depositi nelle cavità terrestri, depositi che terranno dell'indole do' filoni, rimanendone però distinti per la loro irregolarità e per la loro superficialità. Quegli ammassi infatti non si potranno, secondo ogni probabilità, generare che ad immediato contatto coll'atmosfera, e quindi, in luogo di riempire delle profonde spaccature della crosta terrestre, costituendo veri filoni, non faranno che riempire quelle cavernosità, di cui è sempre così ricca la superficie del globo, e formar quindi degli ammassi irregolari.

731. Dissi che il gas solfidrico opera, assai probabilmente, in concorso coi vapori acquei, e vorrei dire in un'atmosfera pregna di vapori acquei, a temperatura abbastanza elevata Negli esempî citati parlasi sempre di ambienti chiusi, ove potevano adunarsi, e rimanere lungo tempo allo stato vaporoso, i vapori acquei, mescolati ai gas solfidrici. Parmi d'altronde più speciosa che ragionevole quell'idea di Fillhol di attribuire la generazione del solfo alla combustione del gas solfidrico, rimasta, per difetto d'aria, incompleta. Quell'idea d'altronde non saprebbe applicarsi alle solfatare, dove non v'ha ragione per supporre difetto d'aria, mentre invece si mantiene costante un'atmosfera di caldi vapori. È appunto l'idea di Bischof, che il solfo nelle solfatare sia condizionato all'esistenza di emanazioni solfidriche in concorso con vapori acquei, fatto che si verifica appunto nelle solfatare di Pozzuoli, di Giava, ecc. (*Lehrb.*, pag. 857). Vedendo infatti come gli ammassi di solfo, talora enormi, generati in seno alle solfatare, non dipendano punto dalla decomposizione delle rocce; vedendo d'altra parte come i gas solfidrici sono incapaci, per sè, a generare il solfo, anche a contatto dell'atmosfera; bisogna attribuire essa generazione all'azione esercitata dai vapori acquei, che si trovano sempre presenti, dove troviamo ammassi di

solfo sublimato. Per formarci un' idea poi della potenza generatrice delle solfatare, basti il dire che la solfatara di Bahar-el-Saphinque, sulle sponde del Mar Rosso, conteneva tale ammasso di solfo libero, che se ne estraevano annualmento dodici mila quintali.

732. I gas solfidrici divengono attivissima sorgente di solfo libero, anche per l'azione chimica, che esercitano sopra certe rocce. Abbiamo già accennato lo solfo, che incrosta i ciottoli calcarei nelle vicinanze di Tocco, lasciato libero dal gas solfidrico che, investendo il calcare, lo converte in solfato di calce. Trattasi, a quanto pare, d'un fenomeno volgarissimo. Ma non sono le rocce calcaree soltanto che provocano una tale reazione, da cui esce libero lo solfo. Altre rocce esercitano lo stesso uffizio, in presenza dei gas solfidrici; ben inteso che avremo, invece del solfato di calce, altri composti solfurei, a seconda dei diversi elementi, che ai gas solfidrici offrono le diverse rocce. Si scoprono in Islanda grandi ammassi di solfo, i quali sono generati evidentemente dai vapori solfidrici, che in gran copia vi si sprigionano. Si osserva che gli strati di solfo alternano con strati di argilla bianca, prodotta dalla décomposizione della parte alluminosa delle trachiti. Il capitano Forbes descrive i grandi depositi di solfo che s'incontrano presso Kriswik, sulla costa meridionale dell' isola. Trattasi di una regione che, per la lunghezza di 40 chilometri, è ricoperta di strati di terra e d'argilla, ricchi del 15 al 60 per 100 di solfo, senza contare le croste di puro solfo dello spessore di 30 a 90 centimetri (Scrope, *Les volcans*, p. 419). Lo solfo sembra ancora in attività di produzione nel cratere di Latera, laterale al gran cratere di Bolsena, già da noi precedentemente descritto. Quel cratere non si può dire propriamente una solfatara, perchè non vi sono fumajoli, o stufe visibili. L'attività vulcanica vi è tuttavia tradita da copiose emanazioni di gas acido carbonico, il quale ribolle ovunque dal fondo pantanoso del cratere, e dalla produzione dell' acido solforico, il quale impregna talmente le acque, che hanno in qualche luogo il sapore di fortissimo aceto. Qui lo solfo deriva evidentemente dall'azione dei gas solfidrici sulle lave alluminose, le quali sono profondamente decomposte, ed hanno l'aspetto d' una roccia tarlata e cavernosa. Vuol dire che, in luogo del solfato di calce, qui si produsse il solfato d'allumina, o piuttosto l'allume, il quale vi si trova in gran copia, e riempie, collo solfo, le cavernosità della roccia. Lo solfo vi si trova in copia sufficiente per alimentare un'industria languida, ma abbastanza produttiva, che lo diverrebbe assai più, quando non si dovesse rinunciare all'allume, per la ragione che costituisce un oggetto di privativa per lo Stato Pontificio. Dopo quanto si è esposto sulla multiforme origine dello solfo, abbiamo noi argomento che basti, per determinare quella del più vasto magazzeno di solfo per buona parte dell' Europa, cioè delle solfatare di Sicilia?

733. I centri principali di produzione sono: Caltanisetta, Girgenti, Palermo, Catania, Trapani, estendendosi il terreno calcareo solfifero sopra una gran parte dell' isola, dall'Etna fin presso Trapani. L'ingegnere Sebastiano Mottura, presentando all' ultima esposizione di Parigi una ricchissima collezione, rappresentante la costituzione geologica del terreno solfifero di Sicilia, ci offriva le seguenti notizie, che io leggo in estratto nella *Relazione sui prodotti greggi e lavorati*, ecc., pubblicata or ora dal signor Curioni (Firenze 1869).

I solfi di Sicilia appartengono ai terreni terziari. La serie è costituita come segue:

Pliocene.

Arenarie, tufo calcareo e marne fossilifere.

Miocene superiore.

a) Calcare marnoso con foraminifere.
b) Argille.
c) Alabastri gessosi, stalattitici, agate, ecc.
d) Grès detto *arenazzolo.*

Miocene medio.

a) Calcare bituminoso che ricopre i banchi contenenti il solfo.
b) Calcari silicei, con selce idrata pulverulenta, pesci d'acqua dolce, e larve di *Libellula doris.* A questo livello si trovano i depositi di solfo.
c) Argilla e grès calcareo con polipai.

Miocene inferiore.

a) Terre saponacee.
b) Marno con cristalli di sale.
c) Conglomerato con polipai.
d) Grès siliceo con argille ferruginose.
e) Banchi sottili con aragonite fibrosa.
f) Calcare *alberese* con fucoidi e nummuliti, con banchi di schisto bituminoso.

784. Il solfo trovasi disseminato in cristalli nella cavità della calcarea, ovvero vi forma delle vene alternanti, in guisa che talvolta predomina il calcare, talvolta lo solfo. Meglio delle descrizioni date finora valgono però i pezzi sparsi ormai abbondantemente in tutte le collezioni, dove si ammirano i magnifici cristalli che tappezzano grandi cavità drusiformi, uniti ai cristalli di celestina (solfato di stronziana), di carbonato di calce (aragonite). D'ordinario però il solfo forma una miscela colla roccia marnosa o calcarea, o talora vi è pressochè interstratificato, costituendo quasi uno schisto a foglie alternanti di marna e di solfo.

785. Mentre l'abbondanza e la bellezza del solfo nelle cavità drusiche suggeriscono bentosto l'idea di una genesi per sublimazione; il solfo stesso, unito e quasi interstratificato a rocce di pretta origine sedimentare, ci invita a riconoscervi un *solfo termogene.* Irrecusabili indizî ci dicono ad ogni modo, che il solfo si formava in concorso coi sedimenti, in seno alle acque, cui i fossili ci scoprono come acque dolci. Sarebbe uopo di una fina analisi sui luoghi, per vedere come potessero per avventura associarsi i fenomeni della sublimazione coi fenomeni della sedimentazione; ma i particolari ci fanno assolutamente difetto. Ritengo che alla formazione di que' depositi non siano rimaste estranee le sostanze organiche, poichè trovo che negli strati ittiolitici il solfo si concentra intorno al pesce, il quale sembra anzi trasformato in solfo. Così da parecchi saggi deposti nel Museo di Milano.

786. Analogo a quello di Sicilia è il deposito solfifero di Szwoszowice (Polonia). Il solfo vi alterna colle marne terziarie, formando un deposito dello spessore di 80 metri. Le marne contengono piante terrestri e conchiglie marine, che si trovarono riempite di solfo (Lecoq, *Les eaux minérales*, pag. 179). Le stesse analogie sembrano presentare diversi depositi solfiferi della Romagna, i quali reclamano, come gli altri, gli studî di accurati osservatori. Ciò che si può dire intanto si è che tanto in Sicilia, quanto nell'Italia centrale, sono abbondantissime le sorgenti solfuree e le ema-

Digitized by Google

nazioni di gas solfidrico, con cui probabilmente si continua quella attività, a cui si devono i depositi di solfo. Ammessa l'esistenza di tale attività verso il mezzo dell'epoca terziaria, quando tanta parte d'Italia era coperta dal mare, non si trova nulla di singolare in ciò che, la reazione esercitata dai gas solfidrici, o sulle rocce calcaree, che venivano attraversando, o sui depositi che venivano formandosi sul fondo del mare, potesse generare ad un tempo del solfo cristallino per sublimazione, e dello solfo termogene per sedimentazione.

737. Alcune parole ora su quel minerale, cui abbiano già visto affrattellarsi allo solfo, anzi presentarne una combinazione, nelle condizioni stesse in cui si genera, per decomposizione di rocce e per sublimazione, il solfo libero. Parlo dei grandi depositi di *allume*, per cui sono celebri principalmente le montagne della Tolfa nelle vicinanze di Roma. Le notizie più interessanti in proposito ci sono esibite dal signor Rath (*Fragm. aus Italien*, 1867).

738. Nei dominî delle allumiere di Roma ogni attività vulcanica è spenta. I giacimenti di allume sono legati ad una di quelle trachiti della Tolfa, di cui abbiam fatto menzione più sopra. La roccia alluminifera è una trachite retinitica, ma così decomposta, così modificata, che sarebbe affatto irriconoscibile, senza il confronto colla trachite, ancora intatta, o meno modificata, che il signor Rath potè interrogare ne' dintorni. La trachite solfifera è interamente caolinizzata, talora come silicizzata. È a questa seconda varietà, cioè alla trachite silicizzata, formante una roccia cavernosa, rossa, che appartengono i depositi di allume. L'allume riempie le cavità della roccia, in concorso col quarzo e col solfo, formandovi anche dei veri filoni, tra i quali primeggia quello della gran cava Gangalandi, di tre metri di potenza. Le salbande del filone sono di trachite, disseminata di grani di pirite di ferro: il filone stesso è riempito di caolino, a cui si associa l'allume. I filoni di caolino e di quarzo si staccano, ramificandosi, dal filone principale.

739. Abbiamo veduto come indizî di attività si rivelino ancora nel cratere di Latera, solfatara ed allumiera ad un tempo: ed io credo che sia quello un luogo opportunissimo per studiarvi la formazione del solfo del pari che dell'allume. Il signor Rath invece cerca luce alla solfatara di Pozzuoli, dove, sia per immediato deposito di emanazioni, sia per un lavoro di decomposizione, esercitato dai vapori della solfatara sulla trachite, e sul tufo de' Campi Flegrei, formansi anche attualmente molti minerali, come solfo, realgar, solfato di magnesia, solfato di ammoniaca, opale, allume ammoniacale, allume potassico, ecc. Benchè qui non si generi la vera roccia alluminifera della Tolfa (Alaunstein) ne esistono tutti gli elementi, e la roccia decomposta contiene, oltre gli allumi, i solfati di potassa e di allumina in tal copia, che Breislak ci aveva fondato una fabbrica d'allume, la quale, dice Rath, si trovava in condizioni opportunissime, potendosi utilizzare i cocenti vapori della solfatara, come si utilizzano quelli dei *soffioni boraciferi* di Toscana, per evaporare le acque contenenti l'acido borico.

740. Meglio ancora però che la solfatara di Pozzuoli si prestano le Cicladi, dove si osserva in piena attività quel processo, da cui si deve ripetere indubbiamente l'origine delle allumiere della Tolfa. Russegger è citato da Rath, come quello, che descrisse minutamente i fatti osservati nell'isola Milos. Il teatro principale dei fenomeni, che interessano il nostro argomento, è la regione S. E. dell'Isola. « Quando si è raggiunto, scrive Russegger ne' suoi *Viaggi*, il Capo Kalamo, ecco levarsi improvvisamente irte e rudi le squarciate rupi di pietra alluminifera, simili a quella di Kimolos e Polinos. Che nei vapori solfidrici stia la causa della metamorfosi della

Digitized by Google

trachite in pietra alluminifera, appare evidentemente da ciò, che tale conversione non si osserva che entro i dominî del terreno, dove ancora oggidì si sviluppano i vapori. Un po' più a sud, dove ciò non accade, la trachite si mostra affatto inalterata. Entro la roccià alluminifera (Alaunfels), derivata dal metamorfismo della trachite, il deposito d'allume (Alaunstein) si mostra talora in filoni ed in ammassi, talora penetra quà e là la stessa massa rocciosa. Al deposito d' allume si associano abbondanti sublimazioni di solfo. » Le stesse osservazioni sono ripetute nella descrizione della deserta isola di Polinos.

Digitized by Google

XVIII. Rocce eruttive detritiche.

741. Il presente capitolo è una continuazione del precedente, ed è pur esso un ritorno sul passato. Si aggira principalmente entro i dominî della dinamica terrestre, inteso a riempiere una lacuna d'argomento importantissimo. Quanto alla geologia endografica, rivela piuttosto dei bisogni ed esprime delle aspirazioni, chiamando l'attenzione de' geologi sopra un campo quasi inesplorato. Sono principalmente i recenti studi di Abich sulle classiche regioni del Caspio che mi hanno ingrandito allo sguardo l'importanza di certi terreni, a cui se ne accordò finora pochissima. Alludo ai prodotti dei *vulcani di fango*. Ma, giacchè ci si presenta il destro, dirò qualche cosa in genere sulle *rocce eruttive detritiche*, le quali, benchè eruttate dal seno della terra, non sono lave, non sono impasti cristallini, ma aggregati, nella cui costituzione prevale, sopra la chimica, la ragione meccanica.

742. Le rocce di cui vogliamo occuparci, prescindendo dalla loro primitiva origine, si avvicinano assai, per diversi caratteri, alle rocce sedimentari, principalmente agli strati, che risultano dall'azione meccanica delle acque. Notiamo principalmente l'in-

dole detritica o clastica, e la stratificazione più o meno decisa. Guardando invece all'origine, dovrebbero classarsi colle lave, colle quali sono generalmente unificato dall'analisi chimica, benchè ne le distingua la forma litologica. Noi ripartiremo le rocce in questione in sei gruppi; quattro appartenenti ai veri vulcani; due alle salse od ai vulcani di fango.

Rocce eruttive detritiche de' vulcani:

1.° Dejezioni detritiche dei vulcani subaerei deposte sulla terra asciutta. Depositi di ceneri, sabbie, lapilli, scorie, tufi;

2.° Dejezioni detritiche dei vulcani subaerei, deposte immediatamente sui fondi subacquei, poco o nulla rimestate dalle acque;

3.° Fanghi vulcanici, prodotti dalle piogge, o dal disgelo, sui fianchi dei coni vulcanici;

4.° Vere eruzioni fangose dai crateri.

Rocce eruttive detritiche dei vulcani di fango:

1.° Fanghi delle *salse* nello stadio di tranquilla dejezione;

2.° Fanghi delle *salse* nello stadio di vera eruzione.

743. Quanto ai depositi del primo gruppo, cioè ai detriti eruttati dai vulcani subaerei, e deposti sui fianchi o all'ingiro del cono, noi ne abbiamo discorso più volte, e quanto basta, perchè siano facilmente riconosciuti. Avvertirò solo come, anche sulla terra asciutta, quei detriti possano subire delle modificazioni, e dare origine, per successivo rimpasto operato dalle acque pluviali, a formazioni di carattere speciale. Accennerò due esempî in proposito, riportati dallo Scrope. Il primo è quello del tufo durissimo, formatosi a grande elevazione sui fianchi del Vesuvio, colle ceneri del 1822, rimpastate dalle piogge. Il secondo ci è offerto dalla solfatara di Pozzuoli. La terra alluminosa, dice Scrope (*Les volcans*, pag. 337), che le piogge staccano dalle trachiti e dai tufi decomposti, si accumula in pozzi poco profondi, e si deposita lentamente in strati orizzontali. I superiori di essi strati, formati naturalmente dalla parte più fina del sedimento, constano di un fango bianco di argilla che, disseccandosi al sole, diviene una crosta compatta, d'un lustro vitreo, simile affatto alla porcellana, e contraendosi, si fende sovente in prismi colonnari grossolani. La stessa origine assegna lo Scrope a certi strati solidi, silicei, diasprini, con foglie e resti di vegetali, alternanti con strati di ceneri incoerenti, nell'isola di Lipari; e la stessa origine si potrà forse assegnare ad altre masse diaspriae, senza supporre all'uopo l'intervento di un'alta temperatura.

744. Le rocce del secondo gruppo, cioè quelle che derivano dalle immediate dejezioni dei detriti vulcanici in mare, furono già esse pure da noi considerate. Quando il loro rimestamento, per l'azione erosiva delle acque, non sia molto avanzato, saranno facilmente riconoscinte, pei caratteri che distinguono gli ordinarî detriti vulcanici. Così si riconoscono a colpo d'occhio i conglomerati basaltici del Vicentino, i quali, benchè incrostati d'ostriche o d'altre conchiglie marine, non hanno punto mascherata la loro primitiva origine. Protratta più a lungo l'azione erosiva, andrebbero vestendo la forma di terreno sedimentare, rimanendo però ancora i caratteri chimici a tradirne l'origine vulcanica, finchè non fossero talmente triti, e i loro elementi così disgiunti e distribuiti, da doversi considerare come pretti sedimenti. Ben inteso che ai sedimenti più communi, agli schisti, alle arenarie, ecc., è prestata la stoffa dai vulcani.

745. Le rocce del terzo gruppo vestiranno le forme delle alluvioni, di cui, come delle precedenti, sarà facilmente riconosciuta l'origine vulcanica, quando il materiale non sia condotto troppo lontano, e convertito in detrito alluvionale commune.

746. Delle rocce del quarto gruppo dobbiamo ragionare un po' più lungamente. Abbiamo veduto accadere sovente che i vulcani, nei più grandi parossismi, eruttano, in luogo di lave, correnti di fango (*Parte prima*, § 833). La più classica di tali eruzioni è forse quella del Galong-goung, vulcano di Giava, avvenuta nel 1822, e riportata da Lyell (*Principes*, *III*, pag. 224). La montagna del Galong-goung era coperta da folta boscaglia, e, benchè munita di un cratere, non se ne conosceva eruzione alcuna. Nel luglio del 1822 il fiume Kunir, che esce da'suoi fianchi, si fè torbido e caldo. L'otto ottobre una violenta detonazione si fece intendere; la terra tremò, e colonne di acqua e di fango bollenti, miste a solfo, a ceneri e lapilli, furono lanciate dalla montagna, come un getto d'acqua, di forza così prodigiosa, che gran copia di materia caddè a 40 miglia di distanza. Tutte le valli, situate entro il raggio di quest'eruzione, furono riempite da un torrente di acqua e fango bollenti, debordando con immensa rovina. Uno spazio di 24 miglia fu coperto da una massa di fango di tale altezza, che non rimase traccia nè di villaggi nè di piantagioni. In prova che trattasi, non già di fango prodotto da piogge torrenziali, ma di una vera eruzione, di un getto fangoso enorme, diremo che i villaggi inghiottiti erano quelli distanti dal vulcano; mentre i più prossimi non ebbero a lamentare che danni leggeri. Le piogge torrenziali seguirono poi, e continuarono il danno. Quattro giorni dopo la prima eruzione, ebbe luogo una seconda; e i getti d'acqua e di fango bollenti erano lanciati insieme a grossi massi di basalte, che vennero a cadere sette miglia lontano. Centoquattordici villaggi furono distrutti, e si contarono fin oltre a 4000 vittime umane.

747. Ad un avvenimento certo consimile si deve il seppellimento di Ercolano e Pompei. È noto a tutti come non furono le lave che distrussero quelle città, ma i detriti vulcanici. Il durissimo tufo che involge le rovine di Ercolano è un vero fango vulcanico, un impasto di cenere. Quanto alle ruine di Pompei, gli scavi praticativi a sì vasta scala ci dicono abbastanza come quella città non fu punto vittima di una sola ed improvvisa catastrofe. Gli abitanti ebbero campo di porsi in salvo, seco esportando quanto avevano di più prezioso. Gran parte della città è sepolta sotto i lapilli incoerenti, che riempirono le vie, i cortili e fin l'interno delle case, come farebbe una grandine, dopo che avesse sfondati i tetti. Ciò vuol dire che Pompei rimase soggetta, probabilmente per parecchi giorni ed a più riprese, al diluvio delle ceneri, delle sabbie e dei lapilli. Ma vi fu un momento in cui un torrente di fango invase la città d'improvviso. Un buon numero di persone, che stava al sicuro nella gran *cantina* detta di *Diomede*, venne d'improvviso affogata dal fango che la cantina stessa riempì esattamente. Parecchie persone, svegliate al primo allarme (tutto dice che l'inondazione ebbe luogo di notte), tentando la fuga, rimasero travolte sulle pubbliche vie dal fango, che ci conservò così esattamente modellati i loro corpi. Questa storia ci è narrata da monumenti, che ciascuno può studiare visitando quelle rovine.

748. Quale origine attribuiremo a quei fanghi eruttivi? Abbiamo già veduto come è tutt'altro che da rifiutarsi l'idea, che il camino vulcanico possa trovarsi temporaneamente in communicazione immediata col mare, sicchè il getto dei vapori, funzionando a guisa di stantufo, pompi l'acqua marina in copia proporzionata alla potenza della macchina, e che quest'acqua poi, mescolata al detrito vulcanico, venga vomitata dal cratere in forma di massa fangosa. Non si può dubitare, come abbiamo

Digitized by Google

narrato, che tale avvenimento abbia avuto luogo durante la celebre eruzione vesuviana del 1631 (*Parte prima*, § 809). Più facilmente ancora può darsi che l'acqua sia, allo stesso modo, pompata dai laghi, che si trovano facilmente formati nei distretti vulcanici. Non so come potrebbesi altrimenti spiegare il fatto dell'Imbadura, vulcano dell'America, il quale nel 1791 eruttò tale quantità di pesci da produrre nel paese la pestilenza (*Parte prima*, § 833).

749. Ma la ragione più ordinaria delle eruzioni fangose io credo debba cercarsi nei *crateri-laghi*. Abbiamo veduto come facilmente un cratere vulcanico, nella fase di riposo, si converte in lago (*Parte prima*, § 868).

750. Il Reventado, vulcano dell'America centrale, aveva già un profondo cratere riempito d'acqua. Il vulcano Edglcumbe, nell'isola Lazaro, (coste della Colombia) si vedeva allo stato di violenta eruzione nel 1796: nel 1806 era già convertito in lago. Il vulcano di Bukayan (isola Mindanao, una delle grandi Filippine) eruppe spaventevolmente nel 1640. La montagna disparve, e un lago (cratere-lago) la rimpiazzò, le cui acque rimasero lungo tempo bianche dalle ceneri in sospensione. Il Bromo, l'unico in attività dei quattro coni craterici rinchiusi nell'immenso cratere del Gunung Tengger a Giava, ebbe quattro eruzioni dal 1804 al 1830. Nel 1838 il suo cratere, profondo 1500 piedi, era convertito in lago azzurro, di continuo agitato, e sparso di pomici natanti. Eruppe più tardi nel 43 e nel 44; ma nel 48 era di nuovo un lago; si citano poi nuove eruzioni nel 58 e nel 59. Le piogge tropicali, che si radunano nella smisurata caldaja del Tenggher, dal cui fondo sorge il Bromo, danno ragione di quel rapido rifarsi del craterico lago. Il lago Nicaragua è seminato di innumerevoli isole vulcaniche, e circondato di coni vulcanici, molti dei quali con cratere lago. Il lago Slopango, per esempio, è un lago craterico, ripieno di acqua amara e salsa, lungo 20 chilometri, e largo 8. Immaginiamo che il cratere Slopango si riattivasse con una eruzione formidabile, pari a quella, per esempio, dal Conseguina (America centrale), che seppellì il paese, pel raggio di 25 miglia, sotto uno strato di ceneri dello spessore di 10 piedi, piovendo le ceneri stesse fino alla distanza di 1000 chilometri. Al primo aprirsi del cratere sotto-lacustre, i vapori, colle ceneri, e i lapilli, verrebbero a trovarsi in un vero apparato di concentrazione: l'acqua diverrebbe in breve calda e fangosa: il lago si trasformerebbe in poco tempo in una caldaja enorme di fango bollente, che, sotto l'impulso dei vapori crescenti, si rigonfierebbe, come viscida pece, finchè si riversi dal cratere, o dal fianco squarciato del monte, sotto forma di corrente fangosa e bollente, seguendo le naturali depressioni delle valli, levandovisi alto, quanto il vuole la spessezza e la quantità della pasta, arrestandosi a suo tempo, per trasformarsi in una massa di fango disseccato, modellato esattamente nel cavo delle valli stesse, ed eroso più tardi dalle piogge o dalle correnti, che cercano, attraverso la facile massa, l'antico letto.

751. Le enormi correnti di fango, cioè di ceneri impastate coll'acqua, di cui tanti esempî si ebbero nell'America del Sud, sono descritte come sgorgate dai fianchi, o riversate dai crateri di quei colossali vulcani. Spesso a'quei fanghi si mesce tal copia di materie carboniose, che si possono bruciare. È il fango di tal natura che costituisce quella *moya*, eruttata dai vulcani, di cui Humboldt parla così sovente, e che agli indigeni serve di combustibile. Quelle materie carboniose che altro esser possono se non piante lacustri, fanghi torbosi, che ricoprivano il fondo dei crateri laghi? Si aggiunga che Ehrenberg, scoprì nelle rocce eruttive d'indole di fangosa gran copia di infusorî, i quali, come ognun sa, popolano le acque stagnanti, e formano talora, quasi esclusivamente, colle loro spoglie microscopiche le fanghiglie delle pa-

ludi, dei laghi e dei mari. Tutti questi fatti sono citati da Scrope (*Les volcans*, pag. 174) e dagli altri vulcanisti.

752. Cercando ora quali depositi, di origine storicamente ignota, possano ritenersi prodotti di eruzioni fangose, sortite dalle bocche de' vulcani, ci si presentano da prima i celebri *trass* dell'Eifel. Lasciando il Reno, per trovare il lago di Laach, seguendo la valle di Brühl, che il lago stesso congiunge al Reno; si percorre la località più classica per lo studio di questa singolare formazione. La valle di Brühl è una valle molto profonda, probabilmente una chiusa in seno ai gres devoniani, rotti nell'epoca in cui formossi il rilievo dell'Eifel, antecedentemente alla formazione dei vulcani, e, come abbiam visto, affatto indipendentemente da essi. Ma i fianchi della valle, in luogo di mostrare a nudo le rocce devoniane, sono coperti, fino all'altezza di qualche centinajo di metri, di un deposito, d'enorme potenza, ed avente l'aspetto d'una gran massa di fango, la quale un giorno scorse e colmò la valle, venendo più tardi incisa dal torrente, che vi è oggi incassato a considerevole profondità. Guardato più da presso, quel deposito ha l'indole e l'aspetto di un fango argilloso, talora molto compatto e omogeneo, talora invece misto di quello stesso detrito, che abbiamo veduto ingombrare tutto il distretto e mescersi abbondante alle stesso lave. Sono abbondantissimi i vegetali involti nel trass; non sole foglie, ma tronchi, ancora ritti in posto, talora carbonizzati, talora intatti, come ne vidi alcuno nel Museo di Bonn. In fine anche un bambino si accorgerebbe trattarsi di una enorme massa di fango, uscita un giorno dal lago, o piuttosto dal cratere di Laach. Quella massa buttossi per la valle di Brühl; colmolla fino all'altezza di 100 e più metri; avviluppò e sepellì le foreste, che ne rivestivano i fianchi. Fu più tardi che il torrente la erôse, finchè venne a trovare il primitivo suo letto. Il cratere di Laach è ridivenuto un lago, il Laachersee: ma se il vulcano ritornasse alle sue ire, quel lago sarebbe di nuovo vuotato; un nuovo diluvio di fango ripiglierebbe la via della valle di Brühl, ed un nuovo volume di *trass* riempirebbe il vuoto che nell'antico praticò la possa erosiva delle acque.

753. Io credo che molti dei così detti *tufi* nei distretti vulcanici, non siano che trass, cioè fanghi eruttivi. Lo Spallanzani ha già espresso quest'idea, parlando dei tufi di Posilippo, e descrive appunto, come prodotto d'una eruzione fangosa, un tufo che si trova nelle vicinanze di Lipari. Comincia a qualche centinajo di passi dalla città, ed arriva, senza interruzione, al di là della sommità del Monte delle stufe. « Codesto monte, scrive Spallanzani, come il più degli altri, varia negli andamenti, formando ora declivi soavi, ora ripidi e scoscesi, ora piani quasi orizzontali, ora dirupi poco meno che verticali. Il tufo pertanto, che vi sta sopra, prende esattamente gli stessi andamenti, e talvolta alla superficie s'increspa, o quasi ondeggia. Nè discorda punto nelle flessioni, ne'giri, nelle mosse, dalle più caratterizzate correnti di lave. Inoltre, a somiglianza di alcune di esse, è formato di sopra giacenti suoli, manifestantisi dove è stato più profondamente dalle pioggie corroso. Fui adunque d'avviso che cotal tufo stato fosse un fiume, diciam così, di sostanze fangose, corso giù dal monte delle stufe (*Viaggi alle due Sicilie* III. pag. 19). » Quel tufo ha, come il trass dell'Eifel, l'aspetto e la natura di un fango incoerente, argilloso, ed è misto di grosse masse di lava e di obsidiana; e (coincidenza singolare, ma naturalissima, ammettendo l'identità d'origine) è tutto sparso di legni carbonizzati.

754. Nel rango dei prodotti d'eruzioni fangose vanno pur collocati i celebri *peperini* dei distretti vulcanici d'Italia, dove offrono talora un ottimo materiale di costruzione.

Chi ha visti i *trass* dell' Eifel, trova di leggieri dei tratti di somiglianza tra questi e i *peperini*. Ben lungi dallo scoprirvi, o i caratteri dei tufi e dei conglomerati tufici, o quelli di una massa fluitata a guisa di alluvione, o rimestata a modo di fondo marino; vi scernerà piuttosto la natura di un fango, semplicemente deversato, e composto di elementi più o meno grossolani. L'unica differenza fra il trass dell' Eifel e i peperini sta in ciò, che il trass è costituito di elementi fini, con radi frammenti di lave e di scorie; mentre i peperini constano per la massima parte di frammenti di lave e di scorie. Il trass è un vero fango, nel senso più volgare della parola; il peperino è un fango a grossi elementi, un impasto fangoso.

755. Ma sentiamo come si esprime Rath, il quale scrisse in materia meglio che altri mai. Egli così descrive il *peperino* dei dintorni di Roma. « È una breccia, per lo più di colore grigio-chiaro, la quale racchiude una quantità di frantumi, talora così fitti e piglati, che il cemento terroso quasi totalmente scompare. Gl' interclusi sono in parte cristalli ben formati, in parte frammenti di rocce, in parte finalmente interessanti aggregati di minerali. Tra i cristalli accenneremo quelli di augite, neri o verdo-nerastri, nelle forme ordinarie. L' augite vi si trova anche in pezzi arrotondati, della grossezza d'un dito, e d'un color verde di bottiglia. Presentano una superficie, che direbbesi fusa, come ne vidi degli esemplari nel Museo della Sapienza. Si aggiungono il mica, in foglie esagonali, della larghezza di un pollice, il ferro magnetico, l'olivina in grani arrontondati, la leucite in netti cristalli, e di rado il sanidino. Ma il suo vero aspetto lo deve il peperino alle masse involte di leucitofiro nero, e di calcare, bianco come la neve, e di rado giallo. Le masse di leucitofiro, talora minutissime vantano, qualche volta molti piedi di diametro; hanno gli spigoli smussati, una superficie parzialmente cavernosa, e offrono tutte quelle varietà di leucitofiro, che si scoprono nel distretti vulcanici dell' Italia centrale (Rath, *Fragm. aus Italien*, 1867, pag. 540). » Continua l'autore, e distingue il peperino dal tufo commune per ciò che, nel primo tutto è fresco ed intatto, mentre nel secondo tutto è guasto e decomposto. La sua estensione nelle vicinanze di Roma è molto riguardevole, ed ha precisamente quella forma che si addice ad un espandimento fangoso. La massa principale, dice Rath, si distende sopra una superficie elittica, il cui mezzo è occupato dal lago Albano. Quella elissi ha, da nord-ovest a sud-est, un diametro di 5 miglia, ed il suo piccolo diametro è di 4. Molti rami si dipartono dalla massa principale. Il suo spessore nelle parti centrali, dove attinge la massima potenza, è di 600 a 800 piedi almeno; mentre nella regione periferica non presenta che uno spessore di pochi piedi. Già questo ci dice come trattisi di una massa, espansa all'ingiro d'un cratere, assai densa, per cui doveva assumere la forma d'una lente, e conservare nel mezzo così considerevole spessore. Il cratere è rappresentato dal lago Albano. Aggiungi, come osserva il Ponzi (*Hist. nat. du Latium*), che i peperini sono a strati, i quali, partendo dalla sommità delle colline vulcaniche, si dirigono, con generale inclinazione, verso il piano. Di più alternano sovente con strati di lapilli e di ceneri vulcaniche; dal che risulterebbe che quegl' immensi ammassi sono il prodotto di ripetute eruzioni fangose. Che siano scorsi a guisa di correnti lo mostra l'osservarsi in più luoghi, dice Rath, come gli strati di peperino si addattino alle irregolarità della superficie, sorpassino le eminenze, scolino nelle valli. Come i trass dell' Eifel, i piperini si espansero sopra un suolo rivestito di vegetazione. Circa ad un miglio da Marino trovai, scrive Rath, numerose impronte di piante nel peperino, le quali ne riempivano lo strato basilare, per lo spessore di circa un pollice. Quelle piante crescevano evidentemente sopra il suolo, costituite di tufi vulcanici, quando

il peperino si espanse come corrente di fango. Tra il peperino compatto e gli strati di cenere porosa che gli soggiacciono si trova quasi sempre un giacimento di piante terrestri, di foglie, di tronchi mezzo carbonizzati, posti a giacere orizzontalmente nella direzione che doveva avere la massa di peperino in movimento.

756. I vulcani più antichi non presentarono essi, come i vulcani attivi, e quelli dell'Eifel, e della Romagna, eruzioni fangose? Parmi non ci sia dubbio in proposito: si lamenta soltanto che la scienza, la quale occuposi tanto delle forme prette sedimentari e eruttive, non abbia guari badato a rintracciare quelle forme eccezionali, per cui i mondi passati devono rispondere, al perfetto unissono, al mondo presente. Pare tuttavia molto probabile à Naumann, che certi finissimi depositi di fango porfirico (*Felsittuffe*, *Thonstein*), regolarmente stratificati, ricchi di piante fossili fluitate, e aventi una speciale importanza nel terreno del *Rothliegende* (permiano), debbano ritenersi come fanghi eruttivi, rimaneggiati dal mare (*Lehrb.*, II, pag. 600.)

757. Certe brecce porfiriche, certi tufi, certi schisti (*Grünsteintuff*, *Schalstein*) non sarebbero, secondo Zirkel, che miscele fangose di grünstein, di argille, e di calcari. Richthofen, per esempio, distinse dalle brecce, e dai conglomerati porfirici, prodotti da erosioni, come dai veri sedimenti formati cogli stessi elementi, certi tufi di porfido angitico, in banchi assai spessi, che hanno tutto l'aspetto di fanghi porfirici (Zirkel, *Lehrb.* II, pag. 543). Ripeto finalmente che l'argomento è meritevole di studio; essendo perfettamente convinto che, tra le rocce costituenti la crosta del globo va assegnato un posto abbastanza distinto a quelle masse fangose, le quali, come riboccano frequentemente dai crateri degli attuali, devono essere state in tutti i tempi prodotte dagli antichi vulcani.

758. Veniamo ora all'altro gran gruppo, alle *rocce eruttive detritiche dei vulcani di fango*. Delle *salse*, ossia dei vulcani di fango, io mi intrattenni così di passaggio (*Parte prima*, § 680) che un ritorno sull'argomento mi pare assolutamente necessario, per riempiere una lacuna. Una descrizione abbastanza particolareggiata di quella fra le *salse*, che mi parve più completa e più caratteristica, ci gioverà meglio allo scopo, che non l'insistere in via generale su que' caratteri, per cui le *salse* costituiscono un fenomeno tellurico di una singolare uniformità. La salsa a cui alludo è quella di Nirano, nella provincia di Modena, della quale ho già pubblicato altrove la descrizione ed il disegno (*I Petroli in Italia*. Milano, 1866; nel *Politecnico*, vol. I, e II, 1866). Sulla via che da Modena guida a Formigine, passato il torrente Spezzano, a mezza via fra Spezzano e Nirano, si scopre una valletta, o piuttosto un solco angusto e profondo, ove, nella stagione piovosa, vedreste colare lento lento un fango cinereo, salato e puzzolento, salvo a trovarci, nella stagione secca, lo stesso fango raggrumato e secco. Quel fango è il prodotto della gran salsa, a cui si arriva, salendo circa mezz'ora sulla sinistra dello Spezzano. Rimontando in fatti quel canale fangoso, ci troviamo ben presto condotti in una specie di circo od anfiteatro, sopra una landa deserta, entro un ampio recinto che cinge la landa quasi di cinerea muraglia, varia d'altezza, aperta soltanto ad est, ove il melmoso torrentello trova uscita per versarsi nello Spezzano. Chi ha visitato il vesuvio nei periodi di calma, meglio chi vide la Solfatara di Pozzuoli, può formarsi un'idea della *Salsa di Nirano*. Anch'essa presenta la forma d'un cratere, cioè un piano depresso, quasi circolare, circondato da un rilievo in forma di recinto, il quale, da un punto di massima elevazione, va decrescendo d'altezza, finchè si mostra inciso sul fianco ad est. Il recinto della salsa, la cui altezza massima oltrepassa certamente i 70 metri, consta di quelle argille cerulee, di cui è formata la prima zona delle colline sub-appennine.

Digitized by Google

759. Il piano della salsa, è il campo di quell'attività che caratterizza appunto quegli pseudo-vulcani. Esso è subcircolare, con un diametro massimo di forse 300 metri, irregolare, fangoso, sterile: un vero campo scellerato, ove è sparso il sale della maledizione. Il piano stesso è d'argilla, e diviso in due metà da un canale scavatovi dalle pioggie. Ad ognuna delle due plaghe corrisponde un gruppo di conetti, ossia di salse. Il gruppo sud ne vanta da dieci a dodici, e circa altrettanti il gruppo nord. Immaginatevi un vero Vulcano in miniatura; la mole imponente del Vesuvio umiliata alle dimensioni pigmee di un mucchio da talpe: riducete il cratere alla capacità di mediocrissimo imbuto; i laghi di lava bollente, onde son celebri i vulcani di Giava, non siano che pochi cucchiaî di melma salata; e le formidabili eruzioni divengano lo sprigionarsi ad intervalli di alcune gallozzole di gas idrogene carburato, che buttano in aria alcune pillacchere di fango: ed eccovi rappresentata al vivo una *salsa*, e meglio uno dei conetti eruttivi, che si aggruppano in una salsa. Non tutti però presentano l'identica forma. Nella salsa di Nirano, per esempio, uno de'coni consisteva in una vasta, morbidissima convessità, ove era scavato un lago circolare, di finissima belletta, della circonferenza di circa 12 metri. Dal centro di esso lago sollevavasi, a brevi intervalli, un gruppo di grosse gallozzole, le quali, scoppiando con rumore simile ad un primo conato di vomito, facevano debordare quella broda fangosa.

760. Il cono, che io chiamerò maestro, non raggiungeva ancora l'altezza di 7 metri, assegnata da Humboldt alle salse di Turbaco. Ne vantava però 5 all'incirca, e si slanciava ardito, quasi affilato, non nuocendo a quella apparenza di acutezza l'angusto cratere, ove le bolle di gas infiammabile si svolgevano con foga incessante, imprimendo alla fragile mole dei tremiti convulsi, e facendole ruttare sgorghi di fango, il quale, diviso in cento ruscelli, ingrumava i lati del cono, e ne inondava la base.

761. Vogliamo ora domandarci: perchè la salsa di Nirano presenti un cratere, cioè un recinto, ove quei vulcanelli figurano quasi altrettante fumajuole? Dirò da prima come io creda trattarsi d'un fatto universale, che non ammette forse nessuna eccezione. Le salse da me osservate, tutte mi presentarono quella forma craterica, e la stessa cosa posso affermare delle salse di Giava, sulla verbale testimonianza del signor Emilio Stöhr. Sapendosi come le salse vadano soggette di tanto in tanto a violenti parossismi, a formidabili eruzioni, si può pensare all'esitenza d'un vero cratere, originato, come quello dei vulcani, dallo sventramento della montagna vulcanica. Ciò dev'essere vero per quelle salse, ove ebbero luogo in fatti poderose eruzioni; ma non per quelle che non ne presentarono a memoria d'uomini; nel qual caso è appunto la salsa di Nirano. Quando il cratere fosse, come pei veri vulcani, un prodotto delle eruzioni; la montagna craterica dovrebbe presentare, come i veri vulcani, la forma conica. Vedremo che ciò si verifica per le salse del Caspio, emule, per la potenza delle loro eruzioni, dei veri vulcani. Nelle salse ordinarie invece la forma d'un cratere non si manifesta, che a chi guardi l'interno della salsa. Se si guarda l'esterno, non v'ha forma conica; non v'ha nemmeno una forma costante, che risponda ad un fenomeno identico nelle differenti località, e tutto rientra, quanto alla forma, nell'orografia locale, la quale non ha nessun rapporto colla salsa. L'esterno sarà un piano, come a monte Pujanello (altra salsa del Modenese); sarà un colle, come a Nirano, ove infatti la salsa è incisa nello sprone occidentale d'un colle allungato, o meglio sull'estremità di una catena di colline, diretta da nord-ovest a sud-ovest. Appena varcato lo spigolo del cratere, più non vi accorgereste nè di cratere nè di

salsa, non scorgendo che la forma ordinaria del colli subappennini. Come adunque esiste quel cratere, il quale a Nirano vanta più d'un chilometro di circonferenza?

762. Dirci che il cratere d'una salsa è *negativo*, in confronto dei piccoli crateri delle singole salse o vulcanelli, e degl' immensi crateri dei veri vulcani, che io chiamerei positivi. La salsa ha un cratere per difetto, un vulcano per eccesso; il circo della salsa è uno scavo, quello del vulcano è un edificio; un vulcano, eruttando, edifica un cono, la salsa si scava una fossa; il vulcano si alza, la salsa si abbassa.

763. Per intendere, bisogna partire dal principio che una salsa ordinaria, consistendo essenzialmente in un'emanazione gazosa, deve la sua forma soltanto al terreno da cui scaturisce. Se il terreno è tale, che si stempri facilmente nell'acqua, esiste la salsa, come a Nirano: se è tale invece che coll'acqua non s'impasti; esiste una semplice emanazione gazosa, come a Barigazzo, a Porretta, a Filigare. E l'acqua, altro de' costitutivi della salsa, non è che l'acqua d'infiltrazione; non è in fine che l'acqua pluviale. Infatti io visitai la prima volta la salsa di Nirano in stagione piovosa. La melma riboccava dai bollenti crateri; il laghetto del gruppo nord debordava a guisa di caldaja, ove bolle un liquido denso, e sgorghi potenti di fango scendevano a rigagnoli sul fianco del cono maestro ad ogni scoppio di bolla. Tutti que'rigagnoli, provenienti dai diversi coni, quasi altrettanti confluenti, andavano a gettarsi in un canale, che sboccava nel canale mediano, che dimezzava, come dissi, il piano della salsa. Quel canale era occupato da una vera corrente di fango, che scorreva con inapprezzabile lentezza, e da cui sprigionavasi continuamente il gas, impigliato nel fango al momento dell'eruzione. Quel fango andava poi a riversarsi nello Spezzano, a qualche centinaio di metri più basso.

764. Quando vi ritornai nell'adusta estate, la scena non era di molto cambiata; il gas sgorgava ugualmente abbondante; ma i fianchi dei coni non erano più ingrumati di fango, ma sparsi di bianca cenere, secchi e screpolati; la melma più non si riversava dai crateri; ma gorgogliava loro serrata nella strozza; anzi talora rinchiusa sotto una volta di fango secco; il canale non era più un fiume di fango, ma un solco adusto, scoriato dal sole.

765. Con tali premesse credo aver già chiarito il mio pensiero circa la formazione del cratere delle salse. Quel fiume di fango, che scorre probabilmente da secoli, è al certo un poderoso emuntorio della salsa di Nirano, la quale è dunque continuamente in perdita, senza che le sue perdite siano altrimenti riparate. Supponete che una bolla di gas gorgogli attraverso un terreno fangoso, che cioè sulla cima o sul fianco d'un colle, si stabilisca una salsa. La parte più densa del fango si dispone, in forma di cono craterico, attorno all'orifizio, mentre la parte più liquida scorre lontano, e si precipita al basso. Un vacuo sotterraneo, equivalente alla massa eruttata o dispersa, è causa necessariamente di una prima depressione del pari equivalente. La sommità od il fianco del colle presenta già dunque una rientranza. Le successive dejezioni accrescono il vuoto, o per conseguenza la depressione. Se le sostanze ejaculate potessero tutte arrestarsi attorno all'orifizio, vi sarebbe un'elisione perfetta tra il rilievo che si va edificando, e la depressione che si va formando. Ma la cosa succede ben altimenti: il fango eruttato scorre lontano dal cono; le pioggie tendono ad esportarlo sempre più lontano, rodono gli stessi coni, trasformano spesso l'intera salsa in scorrevole pantano. Dunque la depressione è sola in continuo guadagno, mentre in perdita continua è il rilievo: il colle si deprime all'ingiro di un orifizio, quasi per effetto d'una lenta suppurazione: in ultima analisi vanneggiar deve un cratere e riz-

Digitized by Google

zarsi un circo negativo, quale il presentano la salsa di Nirano e tutte le salse che funzionano allo stesso modo.

766. Dalla descrizione forse troppo minuta che ci siamo permessa, non vogliamo al presente cavare altra conclusione che questa: formarsi al presente, ed essersi potuti formare in passato, per l'azione lenta e prolungata delle salse, depositi di fango eruttivo, i quali possono acquistare una considerevole potenza. Calcolando all'ingrosso, il cratere della salsa di Nirano rappresenta non meno di dieci milioni di metri cubi d'argilla, esportati dalla lenta azione della salsa, associata all'azione immediata delle acque pluviali. Se domandate quali caratteri distingueranno i fanghi prodotti dalla lenta azione delle salse, dai fanghi vulcanici, dai fanghi alluvionali, ecc.; rispondo che essi saranno distinti dalla loro finezza, dalla loro omogeneità, e sopra tutto dall'essere compenetrati dal cloruro di sodio e dal petrolio, che si può dire non manchino mai di mostrarsi associati nelle salse.

767. È umiliante, dopo quanto si è detto, il non poter citare alcun deposito antico, che possa spiegarsi come originato da una salsa ordinaria. Ma chi professa una scienza, non deve enunciare soltanto que' principî, di cui si è già fatta l'applicazione; ma anche quelli la cui applicazione può ragionevolmente tentarsi, avendo riguardo, non solo a quello che si è fatto, ma anche a quello che rimane da farsi. Gli è per questo che passo a considerare, con speranza di miglior fortuna per la geologia, l'azione delle salse nei loro violenti parossismi, quando cioè vengono ad assumere, con maggior diritto, il nome di *Vulcani di fango*, nome che io vorrei riserbato soltanto a quelle salse, che ebbero vere eruzioni, presentando, salvo la natura del prodotto ed altre differenze, i fenomeni dei veri vulcani.

768. Se le *salse*, le quali agiscono lentamente e tranquillamente, costituiscano un ordine differente di fenomeni da quelle che vanno soggette a violenti parossismi; o se invece quelle non presentino che una fase di queste, figurando come le solfatare in confronto coi vulcani: sono quesiti a cui non mi sento finora in grado di rispondere. Stiamo intanto al fatto, che vi hanno salse, le quali agiscono lentamente, come quelle di Nirano, di Turbaco, ecc.; e salse che operano con violenza, emulando i veri vulcani. Trattisi di diverse manifestazioni, piuttosto che di modi diversi delle stesse manifestazioni, gli effetti saranno diversi; ed è di questa diversità che noi ci occupiamo al presente.

769. Quasi a fianco della Salsa di Nirano soffia un'altra salsa, la celebre Salsa di Sassuolo, la quale vanta tutti i diritti ad essere chiamata vulcano di fango. Plinio, che ci lasciò i documenti della prima eruzione storica del Vesuvio, ci conservò pure memoria della più antica storica eruzione della Salsa di Sassuolo. Egli riporta come, sotto il Consolato di Lucio Marzio (l'anno di Roma 663) un portentoso avvenimento turbò l'agro modenese; come fra lo scuotersi ed il rimbalzare de' monti, vidersi in pieno giorno e fiamme e fumo levarsi al cielo. E la furia di quel pseudo-vulcano dovette essere ben grande, se tutte le ville nei dintorni diroccarono, e molti animali rimasero schiacciati. Qui certamente trattasi dell'eruzione di una salsa nel Modonese, testimoniata dai due più imponenti fenomeni che la costituiscono, cioè violenti terremoti, e getti, in forme di colonna, di fumo e di fuoco, che rendono visibile l'eruzione anche da lontano. Trattarsi poi della Salsa di Sassuolo, lo desume il Bianconi dall'incidente, pur narrato da Plinio, di molti cavalieri romani e viandanti, che stettero a contemplare il fenomeno d'in sulla via Emilia, donde è appunto visibile la Salsa di Sassuolo. Lo si può desumere anche dal fatto che quella salsa vanta una serie di eruzioni storiche e di tale imponenza, che se ne conservò

Digitized by Google

memoria anche in tempi in cui poco si badava ai fenomeni naturali. Prescindendo da eruzioni che si possono presupporre nei secoli XV e XVI, si ricordano quelle constatate degli anni 1601, 1684, 1711, 1781, 1787, 1790. L'ultima eruzione avvenne nel 1835, e ne ricorderemo i particolari, potendo servirci di tipo di quei singolari fenomeni, che, ripetuti le tante volte in tante diverse regioni del globo, hanno tutta l'importanza di fenômeni tellurici, non indegni di essere registrati a fianco delle eruzioni vulcaniche.

770. « Nel giorno 4 giugno 1835, essendo il cielo purissimo e sereno, e l'aere temperato, fu sentito in questi dintorni un odore acutissimo di petrolio, che ad alcuni pareva di solfo, e pochi momenti appresso, si scosse il terreno, e s'udì uno scoppio simile a quello del cannone. Erano le 5. 16'. Lo scuotimento fu sentito con qualche forza a Sassuolo, a S. Michele, e da Castellarano fino a Baiso fu commossa tutta la zona montuosa, che si stende tra il Secchia ed il Trasimaro. Allor si vide a levarsi su questa salsa, di cui era scomparsa quasi la traccia, una colonna di denso fumo, all'altezza di circa 50 metri; in mezzo a questa scintillarono fiammelle di colore or giallo, or rossastro od azzurrognolo; dal vertice di essa venivano gettati all'intorno sassi voluminosi e densa fanghiglia argillosa, la quale discorreva giù per le sottoposte pendici. Tale violenta eruzione durò 20 minuti: si rinnovò con minore intensità alle 5 pom. dello stesso giorno; la salsa non tornò in calma perfetta che dopo nove settimane. La materia eruttata fu calcolata approssimativamente un milione e mezzo di metri cubi; è quella che costituisce oggidì questo piano leggermente declive: prima la salsa si apriva sul margine d'un burrone (Dal giornale *Il Panaro*, n. 34). »

771. Certamente una tale serie di poderose eruzioni, che scossero talvolta fin le città della Romagna, e balestrarono fin de'massi di ottocento libbre, deve aver profondamente modificato il suolo circostante, ad ammassata tal copia di fango eruttivo, da avere il valore, quando non fosse dispersa dalle acque pluviali, d'una vera formazione geologica. Qui poi, come ognuno vede, non trattasi più d'un fango superficiale, diluito immediatamente dalle acque pluviali, e ributtato dal gas infiammabile. Qui v'ha qualche cosa di ben profondo: vapore acqueo a grande tensione: alta temperatura: spontaneo incendio. Qui v'ha qualche cosa che si perenna, si riproduce, come nei camini vulcanici. La storia della salsa di Sassuolo è almeno tanto antica, quanto quella del Vesuvio. Quei massi, che la salsa erutta col fango, dicono un'azione, non solo potente, ma anche assai profonda. Parlasi, per esempio, di massi ofiolitici eruttati; ma le ofioliti, ossia le rocce serpentinose, bisogna cercarle molte miglia lontano dalla salsa. Tutto ci dice in fine qualche cosa di persistente, di poderoso, di profondo, legato ad un sistema grandioso di forze. I vulcani di fango si presentano in fatti, cogli stessi fenomeni, in tutte le grandi regioni del globo. Ma il nostro scopo c'impone di restringerci ora ad un sol punto, quello cioè della produzione di rocce, della formazione di terreni, che possono figurare nella serie delle formazioni di tutte le epoche, e quindi rilevarci in tutte le epoche l'esistenza e l'attività di un agente così poderoso. Se vogliamo, in questo senso, apprezzare il valore d'un tale agente, vedere come i vulcani di fango, abbiano potuto originare depositi immensi, terrestri e marini, imprimere una fisonomia tutta propria ad intere regioni, caratterizzare localmente un'epoca; dobbiamo portarci in quella regione, che si può chiamare l'attuale dominio dei vulcani di fango, dai quali riceve appunto una speciale impronta, e quasi direbbesi la sua attuale costituzione geologica. Questa classica regione si distende ai piedi del Caucaso e sulle rive occidentali del Mar Caspio.

Digitized by Google

772. Dobbiamo ad Abich di potere aggiungere, oso dire, una nuova pagina importantissima alla storia del globo. Chimico e geologo eminente, e vulcanista per eccellenza, risiedendo ora a Tiflis, trovasi precisamente sul campo più opportuno per esercitare il suo ingegno eminentemente osservatore, e per usufruttare quegli studî che l'hanno reso da lungo tempo celebre in Euròpa. Non credo cho al mondo vi sia pel geologo una regione più classica di quella che si distende tra il Mar Nero ed il Mar Caspio, o sorge, irta di catene colossali e di giganteschi vulcani, tra la più profonda intaccatura continentale, e la più vasta depressione del globo. Tutto colà risponde all'ideale d'un teatro, ove si operarono le più recenti rivoluzioni del globo. I vulcani di fango vi spiegano anch'essi un apparato così imponente, da non rimanere umiliati a fronte di quella portentosa catena di vulcani che vanta l'Ararat, e il Demavend.

773. Il principale teatro delle *secondarie manifestazioni dell' attività vulcanica*, nell'Asia Minore, è la regione occidentale del Caspio, che sta tra l'estremità orientale del Caucaso ed il confinente dell'Araxes e del Kur, comprendendo la penisola di Apscheron ed i paesi tra Baku e Soljan. Quella regione è già da lungo tempo famosa per le sue sorgenti minerali, pe' suoi petrolî e pe' suoi vulcani di fango (*Parte prima* § 922). Ma essa venne posta sotto ben più splendida luce dal recentissimo lavoro dell'Abich, pubblicato in occasione che una poderosa eruzione di fango creava una nuova isola nel Capsio (Abich, *Über eine in caspischen Meere erschienene Insel. — Mem. Acad. Saint Petersbourg*, VII Serie, Tom. VI, N.° 3). Noi caviamo da questo importante documento tutti i particolari sui vulcani di fango, che stiamo por esporre, scelti principalmente per mettere in luce l' importanza geologica di agenti e di formazioni, a cui finora, come dissi, ne fu accordata pochissima.

774. Le salse ordinarie abbondano in quelle regioni colle sorgenti minerali. Le sorgenti di Babasanen formano un sistema di terme salino-sulfuree e di stagni di acque fangose, salate, da cui ribolle il gas idrogeno carburato, e che si coprono di petrolio schiumoso. Ma ciò è nulla in confronto dei vulcani di fango, i quali si presentano, come dissi, con apparato così imponente, da atteggiarsi a rivali dei veri vulcani. Quei vulcani di fango hanno cono, hanno cratere; sono vere montagne, e costituiscono vere catene di vulcani fangosi, teatro anche attualmente di strepitose eruzioni. Servano alcuni particolari a darci un equo concetto di quelle singolari creazioni geologiche dell'epoca nostra.

775. Una di queste imponenti catene è quella che vanta i tre grandi vulcani Ottman Boss, Toragai, Kissilketschii. L'Ottmann Boss sorge sopra una piattaforma di terreni stratificati, alta 1000 piedi sul livello del mare. Gli strati sono inclinati in forma di sinclinale, dal cui mezzo., quasi da una conca, si eleva una cupola dell'altezza di 379 piedi. È un monte creato da un vulcano di fango, e presenta un cratere, formato di sette anelli craterici concentrici, del diametro complessivo di 1200 piedi. Rimane nel centro un vero cratere, teatro delle attuali manifestazioni. Una poderosa eruzione ebbe luogo nel 1854, e durò tre ore. Il Toragai è un monte di fango alto 467 piedi, con un cratere del diametro di 1400 piedi, ed è circondato da una vera catena di vulcani di fango, che si levano fino a 1403 piedi sul livello del mare. Il Hissilketschii è una ripetizione del Toragai, ma si leva fino all'altezza di 1400 piedi. La forma dei crateri ad anelli concentrici, cho caratterizza questi vulcani di fango, non differisce nè punto nè poco da quella dei veri vulcani, sostituendo però alle sabbie, ai lapilli, alle scorie, alle lave dei veri vulcani, le poderose correnti di fango e il detrito roccioso, strappato in gran copia dalle masse sottostanti, e misto al

Digitized by Google

fango, in quella stessa guisa che vedemmo dovunque, ma principalmente nell' Eifel, interolnsi nelle lave tanti brani di rocce straniere.

776. Qui dunque abbiamo dei veri coni, dei veri cratori, un sistema tutto positivo, una vera creazione, dovuta ai vulcani di fango, divonuti emuli dei veri vulcani e capaci di crearo, al par di loro, monti e catene di monti. L' apparizione dell' isola Kumani nel Mar Caspio ci offre uno splendido esempio di codesta possa creatrice, e ci mostra come i vulcani di fango possano, ed abbiano potuto, in seno ai mari erigere di gotto quelle móli, di cui i veri vulcani ci offrirono saggi brillanti nelle isole Giulia e Sabrina. Prendiamo dall'Abich i seguenti particolari.

777. La regione già descritta, che forma il littorale occidentale del Caspio, va soggetta a frequenti terromoti, che hanno quasi il loro centro nella città di Schemacha, dirigendosi verso est, e indebolendosi in guisa, che sulle coste riescono appena sensibili. Terribili furono le scosse nel maggio 1859 e nel gennajo 1860. Quei terremoti sono evidentemente legati alle eruzioni fangose e le annunciano, come annunciano quelle dei veri vulcani. In fatti la notte dell' 11 giugno 1859 ebbe luogo sul lido presso Alat una poderosa eruzione. Lo splendore, quasi d'un vulcano di gas infiammabile, vedevasi benissimo da Baku. Un vascello, ancorato presso l'isola Bulla, a 20 verste dal lido, fu coperto di sabbia di color plumbeo. Il mare era scosso, e udivasi un brontolaro quasi di tuono in distanza. I terremoti si ripetevano nel 1861. Fu appunto il 7 maggio di quest' anno che il comandante dello schooner Turkmen scoprì la nuova isola, che fu detta Kumani, appena apparsa sulla superficie del Caspio a sud di Baku. Ella era certamente, come dissi, appena comparsa, poichè la massa di fango, ond' era composta, era appena disseccata alla superficie, ma molle del resto e ancor calda nell' interno.

778. Prima del 1861, al posto dell'isola Kumani esisteva un banco, ossia un basso fondo. L'isola appariva come la calotta di una volta, ossia come una lento di molle fango, basata sul fondo del mare. Era regolarmente ovale, lunga 87 metri e larga metri 66, alta metri 3 508. Il fango, ond' era composta, era argilloso, sabbioso, ciottoloso, figurando un rimpasto di frantumi di arenarie e di marne, che costituiscono il sottosuolo marino. L'esattissima figura rilevata dall'Abich mostra ad evidenza che quell' isola era il parto di un vulcano di fango; sicchè la massa fangosa, doversandosi da un punto centrale, e formando un espandimento quasi circolare, correva più verso sud in forma di corrente. Era poi tutta increspata di pieghe concentriche, come qualunque massa viscosa, che, uscendo da un orifizio centrale, si dilaghi sul piano. Il mare esercitava avidamente la sua rapina sull' isola, rodendola da un lato per 29 piedi in quattro settimane. L' erosione mise a nudo uno spaccato, ove si vedeva chiaramente che il fango eruttivo si era insinuato attraverso una spaccatura del terreno fondamentale, espandendosi poi sul fondo del mare. L'erosione marina non acconsentì che una esistenza effimera a quella nuova creatura. Scoperta il 7 maggio 1861, era già scomparsa nel novembre dello stesso anno. Un basso fondo, di due piedi di profondità, indicava il luogo dove l'isola era sorta; ma nel gennajo 1863 lo scandaglio vi notava da 12 a 13 piedi di profondità.

779. Ciò non vuol dire non pertanto che i vulcani di fango non possano, come i veri vulcani, erigere in seno al mare degli stabili edifici. Un vero arcipelago d'isole fangose, alcune delle quali assai vaste, offre il mar Caspio nei paraggi stessi ove sorse l'isola Kumani. L'isola Bulla, una delle più importanti, può darci un'idea di quello strano arcipelago. È ovale anch' essa: lunga 8050 piedi e larga 4550. Sembra, veduta da mare, una piattaforma, sorretta da verticali pareti fino all' altezza

di 50 piedi. È composta di un conglomerato eruttivo, abbondante di grossi massi. Sulla piattaforma si erge una specie di recinto craterico, che giunge a 150 piedi sul livello del mare. Le correnti di fango, che dal cratere si volgono al mare, sono testimonî di ripetute eruzioni, antiche e moderne, tutte però posteriori ad un deposito di conchiglie *subfossili*, come dice l'Abich, e che io interpreto come appartenenti a specie viventi. Una potente eruzione ebbe luogo nel marzo 1857. La corrente di fango, che volgevasi al mare, acquistò una larghezza di 1200 piedi. Un diluvio di piccole palle, o bombe, venne balestrato in alto dall'eruzione, e pervenne fino al lido. Erano della grossezza di una fava, informi, rigonfie e porose, sicchè galleggiavano sul mare. Non erano in fine che pezzetti di fango-lava, imperfettamente vetrificate alla superficie, nello stato preciso in cui si riduceva il fango eruttivo, trattato al cannello. L'esplosione fu preceduta da forti scosse di terremoto nell'isola. Dal fondo craterico rizzossi incessante una fiamma, a guisa di colonna di fuoco, accompagnata da una nube, che indicava, come nei veri vulcani, la presenza e la possa del vapor acqueo. Una gragnuola di pietre veniva lanciata all'ingiro. L'eruzione durò tre quarti d'ora. Sull'ultimo levossi, precisamente come avviene sulle lucerne a luciliua, una fiamma conica, che fu tratta ben lontano sul mare, e svanì. Diversi gorghi si erano aperti, e vomitavano fango.

780. Riflettasi per bene all'importanza di un agente endogene, a cui i geologi accordarono finora così poca attenzione. Trattasi d'un arcipelago d'isole fangose; trattasi di catene di montagne di fango; trattasi d'una potente formazione geologica, che vediamo crescere e dilatarsi attualmente sopra un'area di tanta vastità. Nè qui si limita quella formazione, poichè basta richiamare come lo stesso Abich descrive un altro sistema di montagne di fango, onde sono irte le penisole di Kertsch e di Taman tra il Mar Nero ed il Mar d'Azof. (*Geologie der Halbinsel Kertsch und Taman.* Mém. Acad. I. de St. Petersbourg, VII Ser. T. IX, n.° 4). Se, come non è a dubitarsi, i vulcani di fango eruppero in società coi veri vulcani, nelle epoche andate; egli è pur necessario che il geologo impari a distinguere un nuovo gruppo di rocce e di formazioni, cui deve trovare associate alle lave e ai sedimenti di ogni epoca. Ma per far ciò è d'uopo interrogare più da presso il fenomeno, principalmente per ciò che può rendere riconoscibili i prodotti dell'agente in discorso.

781. Nelle eruzioni fangose si presenta d'ordinario, come protagonista, il gas idrogeno carburato, che si accende spontaneamente, o per semplice compressione, o per sfregamento contro le pareti dell'interno cratere. Sappiamo che nell'*acciarino pneumatico* l'aria compressa si eleva a 490° centigradi; che l'esca si accende nei condotti degli apparati, per la compressione dei gas: che finalmente scintille elettriche si spiccano, per sfregamento, dai getti di vapore, sprigionantisi da una valvola. All'idrogene carburato si mescono o si sostituiscono talora altri gas, per esempio, l'azoto, od il gas acido carbonico. Realmente però nel vapore acqueo devesi anche qui, come nei veri vulcani, riconoscere il primario agente fisico, chimico e meccanico. La massa eruttata è un fango stemprato nell'acqua: la colonna di fumo è certamente vapor acqueo. Noi abbiamo del resto nella Nuova Zelanda un sistema di vulcani di fango termale, ed in Islanda troviamo una località ove il fango bollente è eruttato, a getti intermittenti da sette ampî crateri (Fuchs, *Vulkanische Erscheinungen*, pag. 517). Il vapore acqueo agisce meccanicamente nelle grandi eruzioni fangose, come nelle eruzioni vulcaniche, sollevando, a guisa delle lave, il fango bollente. Nelle piccole salse la parte meccanica è lasciata ai gas; ma l'effetto è allora debolissimo.

782. Quale è ora l'origine, quale la natura di quel fango? Dissi già, come il fango eruttato dalle salse communi, per esempio, da quelle di Nirano, sia un fango tutto superficiale, formato dalle acque pluviali, che stemprano le argille. La cosa riesce evidente quando si osserva non esistere le salse che là dove si mostrano superficialmente argille, o rocce capaci di convertirsi in fango a contatto delle acque superficiali. Se le rocce superficiali sono dure, come i calcari, le arenarie ecc, in luogo d'una *salsa*, abbiamo una *fontana ardente*. Nell'Appennino troviamo le salse nei distretti argillosi di Monte Pujanello, di Nirano, di Montegibbio, ecc. Troviamo invece le fontane ardenti nelle località arenacee o calcaree di Porretta, di Barigazzo, di Velleja, ecc. Così tuttavia non potremmo spiegare l'origine del fango, che, nelle regioni del Caucaso, erumpe da terreni calcarei in tanta copia, da creare montagne ed isole. Qui il fango formossi, non alla superficie, ma nelle sotterranee profondità.

783. Io non credo tuttavia che vi sia una differenza essenziale tra il formarsi del fango nelle regioni superficiali dell'Appennino, o nelle profondità sotterranee del Caucaso. Perchè si formi del fango altro non si richiede che dell'acqua, ed un terreno che vi si stempri. O trattisi d'acque superficiali, o si parli d'acque circolanti nelle ime profondità della terra, esse formeranno sempre del fango, ovunque incontrino un terreno che si stempri. Vuol dire che il fango, per erompere dalle profondità terrestri, ha bisogno di una forza meccanica proporzionatamente maggiore. Gli è perciò che le masse di fango, accumulate nell'interno, non potranno, come le lave, vedere la luce, se non quando si verificano poderose eruzioni.

784. Se l'origine del fango, tanto nelle piccole salse, come nei grandi vulcani di fango, è sostanzialmente la stessa, non vorremo però asserire che risultano identici i caratteri dei fanghi eruttivi, anche nel caso che identici siano i terreni dal cui impasto i fanghi stessi risultano. Dobbiamo considerare infatti che diversa è l'attività dell'acqua, agente alla superficie, da quella dell'acqua stessa, che opera a profondità maggiori o minori. I capitoli precedenti ci pongono in grado di valutare le conseguenze della profondità, avendo sempre presente come la temperatura cresca colla profondità, e come l'acqua, circolante sotterra, possa acquistare, secondo le esperienze di Daubré, la virtù, non solo di impastare, ma di sciogliere i silicati, e di ridurli in un *magma* cristallino.

785. Gli effetti che si verificheranno in ragione della profondità sono:

1.° Una maggiore tensione dei vapori, e quindi una forza meccanica maggiore. Così si spiega la potenza delle eruzioni dei vulcani di fango del Caucaso e di altre località; non potendo l'eruzione aver luogo se non quando l'acqua sia portata a così elevata temperatura, che, svolgendosi in vapore ad alta tensione, non possa più rimanere compressa a profondità indefinite.

2.° Accrescimento della virtù chimica dell'acqua, per cui è capace di sciogliere, scomporre e ricomporre quelle sostanze, cui non potrebbe alla superficie, formando prodotti nuovi i quali non sono già un semplice impasto fangoso, ma un magma risultante da una trasformazione chimica. Così si spiega come i fanghi, prodotti dalle vere eruzioni, presentino de' caratteri proprî, pei quali si distinguono affatto dai fanghi superficiali. È quest'ultimo punto, che passiamo ora a dimostrare.

786. Nota il Bianconi, che i fanghi prodotti dalle grandi eruzioni (s'intende di quelle che ebbero luogo nell'Appennino) presentano dei caratteri rimarchevolissimi. La loro composizione è assai complicata, risultandone un fango generalmente azzurrastro, macchiato di rosso, verde, giallo, contenente piriti, ossido di manganese, gesso, con altri minerali e frantumi di rocce d'ogni genere.

Digitized by Google

787. Ma è ancora l'Abich che ci offre i migliori documenti circa l'indole eccezionale dei fanghi eruttivi, e circa l'attività chimica che caratterizza i vulcani di fango. Uno de' colossali vulcani di fango dell'altipiano Hitschik Dasch, che sorge come un vero vulcano e ne presenta tutti i caratteri, quando alle lave si sostituisca il fango, offre de' cumuli di detrito eruttivo, ove si aprono profonde crepature verticali, le quali s'inabissano in un terreno composto di rocce argillose, rigonfie, fatte rosse dal fuoco, o di masse porose, oscure, liquefatte a guisa di lava vitrea. Guardando in que' crepacci, sembra di spingere lo sguardo entro la bocca d'una fornace. Si vede che potenti getti di gas infiammabile sgorgarono da quei crepacci, tali da cuocere e vetrificare le rocce sul loro passaggio. La liquefazione fu abbastanza potente, per creare delle stalattiti vitree, le quali rivestono e talora ostruiscono il crepaccio. Un altro vulcano di fango, detto Arsena, sbuca da un calcare contenente conchiglie viventi. È il calcare commune aralo-caspiano, di formazione recente. Ma qui è divenuto marmoreo, cristallino, a banchi irregolari, screpolati, d'apparenza scoriacea, alternanti con una varietà in forma di conglomerato, la cui fisonomia richiama i conglomerati trachitici. Parrebbe che quelle masse calcaree abbiano subìto l'influsso di poderose eruzioni di gas infiammabile. Il metamorfismo si osserva anche ne' crepacci, donde sgorgarono le correnti di fango. In un punto del cratere si raccoglie una quantità di acqua, carica di solfato di soda, mantenuta dalle sorgenti, da cui ribolle il gas infiammabile. Il solfato di soda è così abbondante, da formare delle incrostazioni in più luoghi. Anche i fanghi del già citato Ottmann Boss contengono grossi e numerosi massi di molassa, arenarie, con spato calcareo, arragonite, ecc. marne sabbiose, schistose, argille, ecc. I massi d'argilla hanno assunto i caratteri della terra cotta.

788. Risulta dai fatti accennati, come i vulcani di fango esercitino un'azione meccanica, pari a quella dei veri vulcani, sbranando le rocce sul loro passaggio; ed un'azione fisica, da attribuirsi all'azione immediata del gas, che infiammandosi, cuoce e vetrifica. Quest'azione fisica dev'essere però tutta superficiale, non potendo il gas infiammarsi che a contatto dell'atmosfera.

789. Ma noi miriamo specialmente a dar risalto a quel processo chimico, che deve certamente attivarsi nelle profondità, per virtù dell'acqua, a temperatura e pressione proporzionate alle profondità stesse. Quest'attività chimica, oltre che è manifestata dai diversi minerali prodotti dal fango, è accertata dalla natura del fango stesso. I fanghi delle salse del Caspio non sono punto, come dissi, fanghi superficiali; sono un prodotto a sè, il quale non ha nulla a che fare colle rocce osservate alla superfice o nelle profondità accessibili in tutte le regioni circostanti. Le analisi chimiche dei fanghi eruttivi dell'Isola Kumani e del Toragai rivelano una composizione quasi identica a quella dei tufi vulcanici d'Italia (isola Vivara, Nola, Posilippo, Ipomeo) ed alle obsidiane ed ai porfidi dell'Ararat, e dei vulcani d'Armenia. Hanno dunque l'indole di vere rocce eruttive: stanno anzi alla testa delle rocce eruttive per l'abbondanza della selce, contenendone fino il 77, 72 per 100.

790. Quel fango è dunque una lava? Io credo si possa rispondere e sì e no, con pari verità, considerando la cosa sotto diversi aspetti. Abich suppone l'esistenza di rocce trachitiche nelle irreperibili profondità, ove hanno radice le salse caspiane: ed i fanghi non sarebbero altro che un rimpasto di esse rocce, stemprate dalle acque ad alta temperatura e sotto conveniente pressione. Quanto a me io credo che non faccia bisogno di supporre l'esistenza di tali rocce, che, immediatamente stemprate, si risolvano in un fango composto di silicati: basta per me che la selce e le basi esistano

Digitized by Google

sotto qualunque forma, perchè ne risultino, in virtù dell'acqua, calda e compressa, dei silicati. Parrebbemi vedere nei prodotti de' vulcani di fango un qualche cosa di mezzo tra le vere lave, la cui formazione esige una temperatura ben più alta, quale si manifesta dai veri vulcani, e i fanghi superficiali, i quali risultano dal rimpasto delle rocce superficiali, mediante l'acqua a temperatura ordinaria. Io ritengo che dal più umile *borborismo* al massimo vulcano non c'è che una graduazione di cause e di effetti. Dal fango superficiale, freddo, che risultà dalle argille subappennine stemprate dalle salse di Nirano, alle lave vitree, filamentose di Bourbon e delle isole Sandwich, c'è una scala non mai interrotta. È la scala della temperatura e della pressione: la scala dell'attività chimica, crescente dalla superfice alle massime profondità del globo.

A che ci avrà servito questa digressione nel campo dei fenomeni attuali? Non ad altro che a dimostrare l'importanza dei fenomeni stessi nei rapporti colla geologia endografica. Se attualmente esistono arcipelaghi fangosi e fondi di mare coperti da fango eruttivo; e gli uni e gli altri avranno esistito ne'tempi passati. Io credo, per esempio, che originati da vulcani di fango possono essere molti di quei depositi, ove è spenta la vita; ove troviamo gl'indizî di acque salate in eccesso e di mari interclusi; ove la varietà de' colori attesta tanta virtù chimica; molti di que' depositi in fine, che si riferiscono al devoniano, alle arenarie variegate, alle marne iridate, ecc. Non sarà certo così facile il distinguere que' fanghi eruttivi, rimestati dal mare dagli ordinarî sedimenti. Tale distinzione non sarà tuttavia impossibile, tenuto calcolo singolarmente dei caratteri chimici e dell'assenza dei fossili. Osservo, per esempio, come in Lombardia il *gruppo di Gorno e Dossena* consti d'un'alternanza di calcari, e di marne calcaree, straricche di fossili, e di arenarie e marne varicolori, a tinte vive di rosso, di verde, di giallo, distinte per essere universalmente prive di reliquie organiche (*Parte Seconda*, § 705). Perchè codeste alternarsi della vita e della morte in strati collegati fra loro intimamente, e formanti un assieme indivisibile? Sarebbe mai che allora, nelle Alpi e altrove, si alternassero sul fondo de' mari i sedimenti communi coi fanghi eruttivi? Io non precipito nessun giudizio: ma credo la questione meritevole di studio. Non mancano intanto certi depositi, i quali possono ritenersi come prodotti di antichi vulcani di fango.

791. Una formazione assai nota ai geologi, ma sulla cui origine sono ben lungi dall'accordarsi, è quella delle *argille scagliose*, così sviluppate negli Appennini. Esse sono descritte minutamente dal prof. Bianconi nella sua *Storia naturale dei terreni ardenti.*

S'incontrano a più riprese nell'Appennino monti interi d'argille, per lo più nere e bigie, a larghe macchie e a vene di color rosso, erose profondamente dalle acque, e d'una sterilità eccezionale. Esaminate più dappresso, quelle argille spiegano caratteri ancor più particolari e sopratutto una grande varietà di colori. Il nero è talvolta deciso e lucente, e lo sono pure talvolta un bel rosso di mattone e un bel verde cupo: havvi il bruno, il plumbeo, il bronzato metallico, spesso con gradazioni insensibili, altre volte con bruschi passaggi dell'uno all'altro colore. Furono dette argille scagliose da Bianconi, perchè presentano una superficie levigatissima, dolce, untuosa al tatto, lucente, ceroide, quasi composta di squame, che si sfaldano e vanno per dir così, scivolando l'una sull'altra. Esse argille fanno sovente effervescenza cogli acidi, restando però ordinariamente insensibili all'azione di questi le rosse e le verdi. Non vi si distinguono nè corpi stranieri nè fossili, salvo i frammenti di rocce assolutamente straniere, di cui sono talvolta letteralmente impastate, e diversi minerali

che vi sono sparsi. Immerse nelle acque, quelle argille raddoppiano quasi di volume, e la loro dilatazione è capace di notabile sforzo sulle pareti ambienti. Non havvi stratificazione distinta: ma soltanto venatnre ed inflessioni di lineo e di colori. Numerosissimi sono talvolta gl'iuterclusi, principalmente di calcari con fucoidi, di marne, e di gres, costituenti l'ossatura dell'Appennino. Le squame d'argilla investono i frammenti interclusi, piegandosi e girando loro dattorno, ed insinuandosi tra gl'intervalli loro lasciati. La serie di minerali sparsi nelle argille scagliose è considerevole. Notansi la baritina in arnioni radiati; il solfato di ferro reniforme, radiato, coperto di cristalli cubici; il solfato di calce in cristalli isolati; il mnriato, il solfato ed il carbonato di soda, che si mostrano per efflorescenza alla superficie; la marcellina, ossia pezzi di calcare coperti di ossido di manganese; il solfo in granelli e in piccole vene; l'arragonite; il bitume, che talora scola dalle argille; lo spato calcareo; le piriti; il rame nativo, ecc.

792. Pel complesso dei loro caratteri non v'ha dubbio che le argille scagliose dell'Appennino non rispondano all'ideale de' fanghi eruttivi, cui vediamo attualmente prodotti dai vulcani di fango dell'Appennino e del Caspio. Il signor Stöhr (*Lettera al prof. Canestrini*, Modena 1868) non dubita di affermare, che le argille scagliose, sopratutto quando contengono gran copia di frammenti lapidei, non differiscon punto dal prodotti di eruzione delle salse attuali (per esempio di quella di Sassuolo). Dissi che le argille scagliose non sono fossilifere: contengono però eccezionalmente, secondo Stöhr, dei legni silicizzati, avanzi forse di piante, travolte nelle correnti fangose. Il signor Mortillet (*Atti Soc. Ital.* V. 416) vi segnalò de' fossili cretacei; ma essi appartengono ai massi interclusi di rocce cretacee preesistenti, appartenendo le argille scagliose a periodi più recenti della creta.

793. Le argille scagliose costituiscono nell'Appennino un tale sistema di masse, ossia di espandimenti interstratificati ai terreni di vero sedimento, da non potersi dubitare che non rappresentino un sistema di vulcani fangosi, i quali a riprese, come oggi nel Caspio, coprivano di fango i fondi marini post-cretacei.

794. Quanto all'epoca precisa delle argille scagliose, il signor Bianconi e il signor Stöhr sono d'accordo in ciò che gli strati, i quali le ricoprono, non sono mai più antichi del miocene. Talvolta sono coperte immediatamente dal pliocene. Bianconi vuol riconoscere nelle argille scagliose un orizzonte dell'eocene; ma Stöhr, proverebbe che ne esistono anche di mioceniche. Le argille scagliose, scrive lo Stöhr, quantunque ordinariamente sovrapposte a rocce eoceniche e sottoposte alle mioceniche, in certi casi hanno per letto strati miocenici. Ciò per esempio osservasi a Montegibbio, ove il prof. Doderlein notò due strati di argille scagliose alternanti con rocce mioceniche. Lo Stöhr, completando il profilo, riporta, non solo due, ma quattro strati di argille scagliose, inserti tra gli strati miocenici. La stessa cosa osservò evidente in altre località, risultando, cred'io, dimostrato che, durante l'epoca miocenica, sulle aree modenesi coperte dal mare, si alternavano i sedimenti marini cogli espandimenti prodotti dai vulcani di fango.

795. L'idea, che le argille scagliose siano state prodotte da vulcani di fango, fu già espressa da Doderlein. Stöhr ritiene la cosa a mezzo, non credendo probabile un'azione così ingente, quale si richiedeva per produrre quegli enormi ammassi di fango, che prendono così gran parte nella costituzione dell'Appennino. Ma forse non gli erano ancora noti gli studî di Abich sulle salse del Caspio. Ora che si son viste le salse attuali creare arcipelaghi, e catene di montagne di fango, non sembrerà più strano, che lo stesso abbiano fatto le salse terziarie, o quelle di qualunque altra epoca del globo.

796. La natura eccezionale delle argille scagliose ne ha fatto finora un problema per la geologia d'Italia. Ammessa però l'idea della loro origine eruttiva, il problema non presenterà più tanta difficoltà di soluzione. L'Italia avrà anche questo privilegio di offrire al geologo, oltre una serie stratigrafica forse la più completa del globo, oltre le meraviglie degli antichi e de' moderni ghiacciai e quelle dei vulcani attivi o appena spenti, sviluppato a grande scala quanto può completare lo studio delle salse antiche e moderne. Ma credo ci sia ancor lungo cammino a fare. Una delle regioni dell'Appennino, ove le argille scagliose mostrano un imponente sviluppo, è il tratto percorso dalla ferrovia da Foggia a Napoli, per Benevento, cominciando nei dintorni di Bovino, fin presso Caserta. Tutto quel tratto dell' Appennino presenta una regione sterile, desolata, ove il terreno scivola, si smotta, quasi per effetto di continui terremoti. I villaggi, pensili sulle nude rupi, quasi nidi di aquile, dominano il fondo inabitabile delle valli. Questo spettacolo di desolazione devesi alle argille scagliose, prevalenti sulle altre formazioni in quella contrada. Esse presentano i caratteri descritti dal Bianconi; ma le gallerie, aperte con tanta difficoltà entro quel mobile terreno, ne svelarono alcune particolarità. Quelle argille, se pure meritano tal nome, pajono tutte dello stesso colore nell' interno, sono cioè azzurre, dure, schistose e come formate di squame sovrapposte, irregolari, divise tra loro da piani di clivaggio lucentissimo. È soltanto all' esterno, quando l'azione atmosforica ha potuto esercitarsi sulle argille scagliose, che esse assumono quel fondo nero-grigio generale, ove spiccano a volta a volta il rosso, il verde, accusando un processo chimico attivissimo, attivato dal contatto coll'atmosfera. Come tutti i processi consimili, si risolve in un lavoro di decomposizione e d'idratazione, da cui un considerevole aumento di volume, e quindi quella forza meccanica potentissima, che sfonda le murature a volta delle gallerie. Tra i minerali che si scoprono nelle argille scagliose non trovo fatta distinta menzione del cloruro di sodio, che deve, per mio avviso, impregnare invariabilmente i prodotti delle antiche salse, come inquina invariabilmente i fanghi delle salse attuali. Ma qui le argille scagliose sono distintamente salate, e contengono delle tasche piene d'acqua salata. Sanno oltre a ciò distintamente di bitume, e ne esala il gas infiammabile in tal copia, che si dovette ricorrere alla lampada di sicurezza, per garantire la vita agli operai. Di fossili nessun indizio. Quelle argille scagliose presentano in fine i caratteri del fango eruttato dalle moderne salse, il quale è appunto un fango salato e bituminoso. Quanto alla natura chimica di quella formazione, io non ne possedo analisi alcuna; ma penso trattarsi piuttosto d'una pasta magnesiaca che di una pasta alluminosa cioè d'una vera argilla. Come formazione geologica, si distingue per qualche circostanza particolare di giacitura. Osservate alla superficie, quelle argille scagliose sembrano ripiene di frammenti angolosi, principalmente di calcari marnosi, simili in ciò affatto alle argille scagliose dell'Emilia. Il signor ingegnere Francesco Salmoiraghi, a cui fu affidata la costruzione di una delle grandi gallerie, crede non trattarsi già di massi interclusi, ma di strati, alternanti colle argille, e frantumati, direbbesi, da un sistema indefinitivamente numeroso di salti. Non rinunciando all'idea che gl'interclusi (fra i quali si annoverebbero fin delle rocce granitiche, di cui non si saprebbe altrimenti spiegare la presenza in quella località) caratterizzino qui come altrove le argille scagliose; non può negarsi che anche alla superfice non si mostrino strati marnosi, compatti, alternanti le cento, le mille volte, con strati fangosi, varicolori. Ciò vorrebbe dire, che in quegli antichi mari le eruzioni, ed il rimestamento dei fanghi eruttivi si alternarono più e più volte cogl'intervalli di riposo, indicati da strati di puro sedimento.

Digitized by Google

797. Se le eruzioni dei vulcani di fango ebbero luogo, come si verifica pel Caspio, entro bacini interclusi, ove l'evaporazione originasse depositi di sal gemma o d'altri sali, troveremo facilmente i fanghi eruttivi in concorso con que' depositi, dei quali ci siamo diffusamente intrattenuti, parlando delle origini del salgemma. Io credo che la cosa siasi verificata più volte nelle epoche geologiche, per cui talora il sal gemma mostrasi intimamente associato a depositi di fango, salato, bituminoso. In tali condizioni, per esempio, si trovano i depositi di salgemma, descritti dal signor Ville, esistenti in Algeria, tra Boghar e Lagouat. Il deposito contenente il salgemma può considerarsi, dice lo stesso signor Ville, come il risultato d'una eruzione di fango argillo-gessoso, e di salgemma, che si sarebbe aperta la via attraverso gli strati cretacei e terziarî. Quegli strati sono fortemente raddrizzati attorno alla massa eruttiva, la quale si osserva alla superficie sparsa ed impastata di frammenti cretacei e terziarî (Lecoq, *Les eaux minérales*, pag. 176). Ma siamo in un genere di argomenti, che esigono troppo studio ancora, per essere appena tollerabilmente trattati.

Digitized by Google

XIX. Del metamorfismo in generale.

Caratteri equivoci di certi terreni, 798. — *Metamorfismo*, 799. — *Senso indeterminato della parola*, 800. — *Come si debba realmente intendere*, 801, 802. — *Angusti limiti del metamorfismo di contatto*, 803 806. — *Esagerazioni dei plutonisti*, 807. — *Le rocce eruttive non sono da considerarsi come unica causa del metamorfismo*, 808. — *Vicissitudini necessarie di qualunque massa rocciosa*, 809. — *Teoria della circolazione delle rocce*, 810. — *Si identifica con quella del metamorfismo normale*, 811. — *È la teorica di Hutton*, 812. — *Sintesi della teorica del metamorfismo*, 813. — *Le rocce considerate in due periodi*, 814.

798. Abbiamo studiato i terreni sedimentari, i terreni eruttivi, gli ammassi minerali nelle diverse forme, i terreni d'indole più eccezionale, che tengono ad un tempo della natura sedimentare e della natura eruttiva; eppure siamo ben lungi ancora dal possedere le ragioni di tutte le formazioni componenti la crosta del globo. Quante volte, con in mano un saggio di roccia, saremo ancora a domandarci: se trattisi d'un terreno sedimentare o d'un terreno eruttivo? E tale incertezza ci terrebbe ancora sospesi in faccia a vaste regioni, non sapendosi se considerarle come regioni sedimentari o come regioni eruttive. Ci troviamo infatti ancora perfettamente all'oscuro circa l'origine di una gran parte dei terreni costituenti, come i massimi rilievi, così le più antiche e le più potenti formazioni del globo.

Abbiamo molte volte accennato nella *Seconda Parte* all'indole cristallina e subcristallina, che predomina nelle formazioni più antiche, segnatamente nella gran massa fondamentale dei terreni azoici o laurenziani. Abbiamo veduto, come quelle formazioni appajano pure stratificate, abbiano quindi i caratteri dei sedimenti: ma sono cristallini; sono micaschisti, talcoschisti, cloritoschisti, schisti amfibolici, e constano degli stessi elementi onde risultano i graniti, le sieniti, e le dioriti. Sono lave, o sono sedimenti? Come si spiega codesta specie d'ibridismo, presentato da così vaste formazioni?

799. È un quesito che i geologi si sono proposti già da lungo tempo; e ne cercarono la soluzione nel supposto, che quelle formazioni fossero in origine pretti sedimenti, i quali subirono l'influsso di qualche agente, che ne produsse la cristallizzazione. Convennero perciò di distinguere que'terreni coll'opiteto di *metamorfici*, e di intendere espresse colla parola *metamorfismo* tutte le ragioni, per cui uno strato qualunque potè assumere dei caratteri nuovi, dopo la sua formazione. Se domandate poi agli autori quali sono le rocce, le formazioni *metamorfiche?* tutti andranno intesi nell'indicarvi certi gruppi, per esempio, di micaschisti, di schisti amfibolici, ecc. Quando si tratti poi di definire il metamorfismo, di assegnarne le ragioni, di fissarne i limiti, di distinguere nettamente le rocce metamorfiche, d'indòle sempre cristallina, dalle rocce eruttive, ugualmente cristalline; allora eccoli confusi, imbarazzati.

800. Lyell, per esempio, assegna alle rocce metamorfiche i seguenti caratteri:

1.° Assenza dei fossili.

2.° Tessitura eminentemente cristallina.

3.° Il non inviare nessuna vena nelle rocce a contatto.

Il gneiss, per esempio, sarebbe da lui considerato come formazione metamorfica; ma ognun sa come esistano transizioni indefinite di composizione e di struttura tra i gneiss e i graniti: tanto che volendo considerare come rocce metamorfiche gli uni, bisognerebbe considerare ugualmente come tali gli altri. Così i graniti diverrebbero rocce sedimentari in origine, mentre non sono originariamente che lave. Se prendiamo il criterio dell'assenza dei fossili, dovremo escludere dalle rocce metamorfiche gli schisti argillosi subcristallini della Tarantasia, che contengono i vegetali carboniferi convertiti in talco, e peggio gli schisti granatiferi del gruppo del S. Gottardo, eminentemente cristallini, eppure contenenti belemniti. Per non prolungare la questione, basti il riflettere, che dalle rocce di puro sedimento, quali sarebbero un calcare, un'argilla, una sabbia dei colli subappennini, alle rocce eminentemente cristalline, ai calcari saccaroidi, alle quarziti, ai micaschisti, ai talcoschisti, vi sono transizioni così lenti, così graduali, così indefinibili, che lo stabilire un limite tra il *normale* e il *metamorfico* è pretendere l' impossibile.

801. Vogliamo noi dunque negare il metarmorfismo? Chi lo potrebbe, quando si vedono strati distintamente fossiliferi presentare una forma tutto cristallina; composti di que'cristalli, che noi siamo usi a rinvenire nelle rocce eruttive, o che ad ogni modo non trovano ragione di essere nella sedimentazione? I calcari fossiliferi siluriani di Norvegia contengono granato, amfibolo, peridoto. A Rothau nei Vosgi, si conosce una roccia, ove i polipai sono rimpiazzati dall'amfibolo e dal granato, che ne mantennero intatta la forma. Le antraciti e le grafiti nei terreni cristallini presentano a vasta scala la testimonianza sicura dell'origine sedimentare, e del metamorfismo conseguente d'immensi depositi. Se io non volli stabilire una classe di rocce metamorfiche (*Parte Seconda*, § 312), non è già perchè io negassi il metamorfismo de'terreni; ma perchè piuttosto giudico, che nessun terreno letteralmente non sia metamorfico, non abbia, cioè subito, come mi espressi allora, qualche modificazione, qualche metamorfismo, all'epoca della sua formazione.

802. Io sono nemico di quel metamorfismo convenzionale, di quel metamorfismo, che serviva di velo all'ignoranza, di scusa all'inerzia. Se, incerto dell'origine d'un micaschisto, d'un cloritoschisto, io domandava al geologo: che cosa è questa roccia? egli mi rispondeva: è una roccia metamorfica. Se domandava poi, quale causa l'avesse così modificata, e, di roccia sedimentare, resala cristallina; mi si rispondeva: Il *metamorfismo*. Quasi il metamorfismo fosse un agente, come l'acqua od il calore. In fine

non si può assolutamente ammettere una classe di rocce metamorfiche, come si ammette una classe di rocce vulcaniche, o di rocce sedimentari. Sono le stesse rocce, o eruttive o sedimentari o di qualsiasi origine, che possono essere state metamorfosate, presentare cioè delle modificazioni di forma, di struttura, di composizione, per l'influsso dei mille agenti tellurici, a cui furono in balìa posteriormente alla loro formazione. Non ci può essere dunque per noi una *teorica del metamorfismo*. C'è invece un immenso campo da esplorare, una serie infinita di cause e di effetti da studiare. A questo studio noi ci accingiamo al presente, cercando di ripartire i fenomeni in diversi gruppi, in base alle reciproche analogie. La profonda oscurità, che cela ancora all'occhio della scienza le ragioni di tanti fenomeni, che si compiono lentamente nel mistero delle profondità terrestri, ci serva di scusa, se, anche per questa parte, il nostro Trattato presenterà tutti i difetti d'un primo tentativo.

803. Quasi per sbarazzarci la via, cominciamo a mettere da parte quella serie di fenomeni, così limitati e localizzati, che costituiscono il detto *metamorfismo di contatto*. Noi ne abbiamo già parlato a sufficienza (§ 43 64). Il metamorfismo di contatto è molteplice, interessantissimo; ma è anche ben determinato dal fatto stesso della presenza della roccia eruttiva. Costituisce un gruppo di fenomeni a sè, i quali si riducono ad una serie di modificazioni, prodotte dalla roccia eruttiva, o meglio dalla temperatura e dai diversi agenti che l'accompagnano, in modo specialissimo dall'acqua, sulle rocce a contatto. Si è voluto esagerare assai la portata di tale metamorfismo; si pretese che il metamorfismo di contatto si verificasse a distanze di migliaja di metri dalla roccia eruttiva; si volle infine tutto spiegare con codesto metamorfismo di contatto. Sappiamo invece che la sua portata è limitatissima. Delesse riporta un buon numero di fatti, dai quali risulta come il calcare, a contatto delle rocce trappiche, o rimase affatto inalterato, o non subì che alterazioni leggerissime. Negli stessi distretti, dice Lyell, ove s'incontrano tanti casi di metamorfismo, non è raro il caso dell'assoluta integrità della roccia a contatto. Quanto abbiam detto del resto a proposito del metamorfismo di contatto, indicato come prova dell'origine eruttiva delle rocce, ci mostrò sempre come esso metamorfismo si restringa a qualche centimetro, tutt'al più a qualche metro, a pure salbande, le quali, per quanto se ne esageri lo spessore, saranno sempre un nonnulla a fronte delle enormi masse di schisti cristallini, di calcari saccaroidi, la cui origine voleva ripetersi dall'azione d'una massa eruttiva.

804. Sarebbe strano davvero, che una lava potesse esercitare la sua azione metamorfica sopra masse di 4000 e fin di 5000 piedi di spessore, mentre i minuti frantumi di roccia interclusi nelle lave stesse non sono talvolta che debolmente modificati alla superficie. I gres devoniani, interclusi nelle lave dell'Eifel, non sono che coperti di uno smalto vitreo, superficiale.

805. Nella collezione Brocchi delle rocce vesuviane, che si conserva nel Museo di Milano, si ammira un pezzo di argilla, eruttato dal Vesuvio nel 1822, evidentemente sotto forma di bomba, di cui il pezzo del Museo non è che un grosso frammento. La lava nera, augitica, un po' bollosa, forma un involucro esterno, dello spessore di un centimetro circa. Questo involucro esterno racchiude un involucro interno, dello spessore pure di un centimetro, di porcellanite, che direbbesi un vero diaspro. I limiti dell'involucro diasprino sono netti, taglienti, matematicamente decisi, sia esternamente verso la lava, sia internamente verso l'argilla, che occupa tutto l'interno. Si osservi dunque come l'alterazione fu forte, decisa, assoluta, ma per nulla profonda.

806. Non si saprebbe comprendere come mai il metamorfismo di contatto, e principalmente quello che dipende dall'alta temperatura delle lave, possa avere tanta in-

fluenza sulle rocce adjacenti, quando vediamo le lave roventi passare ed arrestarsi sul ghiaccio, senza che esso dia segno di avvedersene. È troppo noto come in Sicilia, in epoca, se ben mi ricordo, di grandi calori, si facesse ricerca di ghiaccio e se ne trovasse un bel banco sulla cima dell'Etna, protetto da una corrente di lava che l'avea sommerso. Più singolare è il fatto che ci narra John Ross dei due vulcani antartici l'Erebo e il Terrore. Quelle due montagne ignivome, coperte di eterne nevi, erano formate di strati alternanti di ghiaccio e di basalte. Ben si intende, come le ceneri che, per avventura, cospergono il ghiaccio, prima dell'arrivo della corrente, e come le scorie stesse, entro cui si svolge, quasi insaccata, l'ignea lava, possano formare uno strato abbastanza coibente, perchè il ghiaccio punto non si risenta dell'alta temperatura della lava stessa; ma non si intenderebbe affatto come, se uno strato di ceneri o di scorie basta a mantenere incolume il ghiaccio sotto un torrente di fuoco, non basti una massa rocciosa qualunque a salvarne un'altra, sicchè questa subisca un influsso così potente che basti a cambiare, per esempio, il calcare commune in saccaroide.

807. Fa meraviglia quindi il leggere come taluno ravvisi il metamorfismo di contatto a distanze favolose della roccia che l'avrebbe causato. Keilhau, citato da Bischof, asserisce, che, nei dintorni di Cristiania, il metamorfismo del calcare è ancora sensibile a 4000 e fino a 5000 piedi di distanza dal granito. Come mai, domanda Bischof, deve essere sensibile alla distanza, cioè attraverso lo spessore di un miglio un'azione di cui tante volte non v'ha traccia a immediato contatto. E di tali casi Bischof ne cita moltissimi (*Lehrbuch d. chem. und phys. Géol.*, III); tra gli altri quello narrato da Studer che sul Mettemberg, presso Grindelwald, scoprì degli schisti calcari dello spessore di un pollice, letteralmente interchiusi nel gneiss, che non hanno perduto nè il color grigio, nè alcuno de'caratteri sedimentari, e conservano intatti gli ammòniti e le belemniti, quasi sulla superficie di contatto. Notisi che gli esageratori del metamorfismo di contatto sono queglino stessi che il metamorfismo ripetono dall'immediata azione del calore. Questi, soggiunge Bischof, non hanno mai certo accostata una mano alla muratura esterna di un alto forno fusorio, che appena è tiepido anche dopo che, per un anno intero, vi arde intenso e continuo il fuoco.

Io non credo che quegli esagerati plutonisti cercassero mai seriamente di rendersi ragione di quanto asserivano, credendosi sicuri del rigore delle loro illazioni, dal momento che avevano abbracciati certi principî. Supponiamo che un tale avesse sposata la tesi, sostenuta con tanto vigore e con tanta apparenza di ragioni da de Buch, che la dolomia non era che il prodotto metamorfico dell'azione chimica di contatto delle rocce eruttive sul calcare. Questo tale, ovunque scorga la dolomia, trovassela pure a molti chilometri distante da qualunque roccia eruttiva, o da questa, se fa uopo, separata per l'intermezzo d'altre potenti formazioni arenacee o calcaree, questo tale, dico vi scoprirà sempre le traccie di un metamorfismo igneo. Trattando a suo tempo delle dolomie delle Prealpi lombarde, vedremo come il caso è tutt'altro che ipotetico.

808. L'origine delle grandi masse dei saccaroidi, dei micaschisti, di quelle immense formazioni cristalline e subcristalline, costituenti, quasi per intero, le formazioni azoiche, e sì gran parte delle paleozoiche, rimane dunque un mistero. Non potendo trovarne le ragioni nell'influsso immediato delle roccie eruttive, o, direm meglio, delle eruzioni, andremo in cerca di agenti, la cui azione si eserciti, se fa d'uopo, indipendentemente dalle rocce eruttive.

La pressione prodotta dalla forza centripeta, l'infiltrazione e la circolazione generale delle acque, il calore interno, l'elettricità, quell'attività fisica e chimica, che co-

stituisce la vita del globo, che edifica e distrugge, che si riproduce incessante per una serie meravigliosa di circoli; ecco le grandi forze capaci d'influire sull'intiera compagine del globo, e sulle diverse masse che lo compongono.

809. Prendiamo qualunque massa rocciosa. Sarà uno strato; sarà una corrente di lava. Coll'essersi formata, non è certo fissato un termine alle sue vicissitudini; anzi le sue vicissitudini cominciano adesso. Quella massa e ogni atomo che la compone devono passare attraverso alle infinite rivoluzioni del globo. Lo strato, prima molle, bagnato, s'indura e si prosciuga; la lava, fluida e rovente, si rassoda e si raffredda. Ecco ora quelle masse in balia degli agenti atmosferici, che tendono a scomporle. Se sono sottratte all'atmosfera, perchè sepolte sotto ad altre masse, non mancheranno le acque circolanti di venirle a cercare nelle maggiori profondità del globo, assoggettandole al loro influsso onnipotente. Sul primo strato superficiale, che oggi si depone, un altro si distende domani; alla prima corrente, oggi distesa sul fianco d'un vulcano, una seconda si sovrappone domani. Così al primo strato, alla prima corrente, si sovrappongono mille. Quello strato, quella corrente, si sprofondano sempre più; e sempre più cresce quella temperatura che attiva la possa degli agenti modificatori. Così si arriva mano mano dove più ferve l'attività interna del globo, ove si ammaniscono i magma vulcanici, destinati ad essere di botto spinti alla superficie del globo. Ogni granello, ogni atomo ha una storia di secoli e di êre geologiche; ogni granello deve aver subito e deve subire una serie infinita di modificazioni.

810. Non sarà troppo se noi diciamo, che si verifica una *circolazione di rocce*. Gli strati azoici o siluriani, ai quali si sovrapposero pile di strati di dieci e di venti chilometri, che passarono quindi dalle regioni superficiali alle profondità di dieci, di venti chilometri, e che ora si mostrano a nudo sulla superficie terrestre, hanno compito almeno un giro su quel cammino circolare, che tutti gli elementi tellurici rimuta dalla superficie al centro, e dal centro alla superficie.

811. Quello che io chiamo *teorica della circolazione delle rocce* si identifica alla fine con quella del *metamorfismo normale* o *regionale*, come è intesa dai più celebri autori. L'idea almeno del *metamorfismo normale* vi è implicita, come la conseguenza nel principio, l'effetto nella causa. Le rocce, formate alla superficie, o per dejezioni vulcaniche, o per sedimentazione meccanica, o per qualunque altra via, vengono successivamente ricoperte di nuove dejezioni, di nuovi sedimenti, e successivamente così vengono sprofondandosi, subendo successivamente quelle modificazioni, che, l'accrescimento progressivo della temperatura, l'azione delle acque interiori, e dei diversi agenti, vanno operando. Così possono, anzi debbono arrivare fin là, dove l'interno calore e i mille fattori della attività tellurica preparano gli impasti, che di tratto in tratto ribollono dalle ime profondità, e si riversano sulla superficie del globo. Può accadere invece talora che le rocce siano arrestate nella lor marcia discendente, e ributtate alla luce da un sollevamento; e noi le rivedremo, coi segni impressi di un metamorfismo corrispondente alla profondità attinta, coi caratteri del prodotto di un grandioso e diuturno processo, troncato a mezzo. Comunque, ridivenute rocce superficiali e fonti di nuovi sedimenti, si rifaranno da capo per quella via che le ritorna a quelle ignote profondità, da cui uscirono un giorno. Così la crosta, così la massa terrestre, continuamente si rimutano in sè stesse, con perpetuo circolo, con una serie di lentissime rivoluzioni.

812. Non v'ha nulla di nuovo in questa teorica, che è infine, se non erro, la teorica fondamentale di Hutton, molto nettamente riassunta da Daubrée nei seguenti

periodi, che meritano di venir riportati. « Hutton narra la storia del globo con semplicità pari alla magnificenza. L'atmosfera è la regione ove le rocce si decompongono, e le minuzie loro vanno accumulandosi sul fondo del mare. Gli è in questo vasto laboratorio che le materie mobili sono in seguito, sotto la duplice azione della pressione dell'oceano e del calore, mineralizzate e trasformate in rocce cristalline, aventi l'aspetto delle rocce più antiche, destinate ad essere più tardi sollevate per forza dello stesso interno calore, e alla lor volta demolite. La degradazione di una porzione del globo è così costantemente impiegata a edificarne un'altra, e l'assorbimento continuo dei depositi inferiori dà per prodotto sempre nuove rocce, che possono venire injettate attraverso i sedimenti. È un sistema di distruzione e di rinnovellamento di cui non si può nè indovinare il principio, nè prevedere la fine. Come nei moti planetarî, dove le perturbazioni si correggono da sè stesse, hanno luogo nel globo dei cambiamenti continui, ma aggirantisi entro certi confini, sicchè il globo non mostri alcun segno di nè infanzia, nè di vecchiaja. » (Daubrée, *Rapport sur les progrès*, ecc., pag. 59.) Daubrée, mentre soscrive al concetto di Hutton, non ammette quella continuità di processo che ne è parte essenziale « Considerando questa azione come un fenomeno continuo, Hutton ha oscurato il suo bel concepimento. » (*Ib.*) Ammettendo egli, colla universalità dei fisici e geologi, il progressivo continuo raffreddamento del globo, non può certo accettare la continuità di un processo che è tutto dipendente dal calore interno; non può ritenere perenne il giro di una ruota, mossa da una sorgente che va esaurendosi. Per quanto però si consideri o come ancor vicino il giorno in cui cominciò, col consolidamento della crosta del globo e colla formazione dell'atmosfera e dei mari, il giuoco della degradazione, o come già prossimo quello, in cui si dirà che il nostro pianeta è spento; non vi sarà alcuno che non conceda che il principio non disti dalla fine tal lasso prodigioso di tempo, da non permettere che una o più volte non si compia, e forse non siasi compiuto il circolo huttoniano.

Basta che un tal circolo siasi verificato una sol volta, cosa che nessuno negherà certamente, perchè la teoria geologica di Hutton, intesa a rendere ragione del passato, piuttosto che dell'avvenire, sia ad aversi per chiarissima e senza nubi. Io non credo che ci sia nulla di continuo, nulla di perpetuo, se non in Colui nel quale tutto si continua, tutto si perpetua: ma io penso in pari tempo che i circoli huttoniani, ripetutisi forse già più volte, si rinnoveranno ancora le mille, poichè veramente il mondo non presenta i tratti nè dell'infanzia nè della vecchiaia.

813. Ritornando a noi, io ammetto, e chi nol dovrebbe? che lo sprofondamento dei terreni, crescente, per causa e in ragione della sovrapposizione, debba essere una, anzi la principale causa di un continuo metamorfismo. È un fatto che la temperatura cresce colla profondità. Fino a quali limiti, si ignora: ma cresce fin là dove il calor bianco fonde, o volatilizza ogni terrestre elemento. È certo che le profondità del globo sono un vasto laboratorio ove tutto si distilla, si lega, si trasforma. Quel fango che oggi si distende sul fondo del mare, ancora trastullo delle onde, quante metamorfosi non soffrirerebbe, quando fosse mano mano cacciato fin là ove fremono, come entro l'otre di Eolo, i vulcani? È questo metamorfismo che E. De Beaumont ha chiamato *normale*, o anche *regionale*, perchè prodotto sopra vaste masse, che oggi occucupano estese regioni.

814. Questo metamorfismo normale o regionale, dev'essere, come ognun vede, complicatissimo, e torna difficile il tener dietro coll'analisi a processi, i quali devono avere per loro caratteristica la gradazione più insensibile, la massima varietà, e la

Digitized by Google

maggiore complicazione, dovuta alla simultaneità delle cause, che debbono tradursi in una complicatissima *risultante*. Per venire a capo di qualche cosa, proviamci a considerare isolatamente le forze principali, a cui deve invariabilmente venir sottôposto qualunque terreno, dal momento che è formato. Consideriamo quindi le rocce in due periodi, che possono essere l'uno e l'altro lunghissimi, e durante i quali agiranno forze diverse.

1.° Periodo. — Finchè la roccia rimane alla superficie, dove si è formata. Avremo una *prima categoria di metarmorfosi* per effetto delle forze esogene. *Metamorfismo esterno o superficiale.*

2.° Periodo. — Quando, per la successiva sovrapposizione di rocce più recenti, un terreno si trova gradatamente sprofondato verso il centro del globo. *Seconda categoria di metamorfosi*, per effetto delle forze endogene. *Metamorfismo interno.*

Digitized by Google

XX. Del metamorfismo esterno, e specialmente del clivaggio poliedrico e sferoidale.

Metamorfismo meteorico, 815. — *Caolinizzazione*, 816. — *Metamorfismo idrotermale*, 817. — *Clivaggio*, 818, 819. — *Poliedrico*, 820. — *Ipotesi in proposito*, 821. — *Screpolamento dei solidi che si contraggono*, 822. — *Autorità*, 823. — *Analisi del processo della contrazione dei solidi*, 824-831. — *Applicazione*, 832. — *Fatti comprovanti l'origine per contrazione dei piani di clivaggio*, 833. — *Objezione dalla lunghezza dei prismi*, 834. — *Basaltizzazione degli espandimenti di lava*, 835, 836. — *Dei dicchi regolari e irregolari*, 837, 838. — *Basalti radianti*, 839. — *Il Werregotsch*, 840. — *Obiezione dalla regolarità*, 841. — *Come essa si spieghi*, 842, 843. — *È più apparente che reale*, 844. — *Due quesiti*, 845. — *Forme caratteristiche delle diverse rocce*, 846, 847. — *Ragione di esse forme nelle rocce porfiroidi*, 848. — *Nelle stratificate*, 849. — *Nei basalti*, 850 —. *I basalti non costituiscono una eccezione*, 851. — *Condizioni della regolarità*, 852-855. — *Giunture basaltiche*, 856. — *Loro origine*, 857, 858. — *Giunture concavo-convesse*, 859. — *Teorica della loro formazione*, 860. — *Fatto comprovante*, 861. — *Diversi caratteri delle giunture* 862, 863. — *Giunture nelle diverse rocce*, 864. — *Apparente stratificazione dovuta al clivaggio*, 865. — *Giunture nelle rocce sedimentori*, 866, 867. — *Clivaggio sferoidale concentrico*, 868. — *Opinioni sulla sua origine*, 869. — *Associazione delle due forme*, 870. — *Autorità*, 871. — *Trasformazione del poliedro in sferoide*, 872. — *Legge generale*, 873. — *Effetto della erosione*, 874. — *Forza meccanica conseguente*, 875. — *Teoria della trasformazione dimostrata*, 876-879. — *Il processo dimostrato da' calcari a zone concentriche*, 880. — *Esempio che attesta la forza meccanica*, 881. — *Esempî di corrispondenza delle forme*, 882-885. — *Mari di rupi*, 886. — *Rocce sedimentari*, 887. — *Sferoidi di origine eccezionale*, 888.

815. Le rocce, finchè rimangono nelle regioni più superficiali del globo, sono soggette a venir più o meno rapidamente degradate. Noi abbiamo consacrato per intero il IV capitolo della *Prima parte* a questo argomento. La degradazione, che noi abbiam detto meteorica non è che l'effetto d'un metamorfismo, il quale varia col variare

delle rocce, ed è prodotto dall'influsso dei diversi agonti meteorici, principalmente dall'acqua. Si può anzi dire che il metamorfismo esterno, in quanto dipende dagli agenti meteorici, è un fenomeno di idratazione, con aumento di volume, ed in generale con rammollimento della massa rocciosa. Non vogliamo del resto nè ritornare su cose già trite, nè perderci nell'enumerazione dei casi infiniti di quel metamorfismo che noi chiameremo *metamorfismo meteorico*. L'argomento è trattato ampiamente da Bischof, nella sua opera di *Geologia chimica*, dove troverete analizzati i diversi processi, per cui risultano tante rocce decomposte, ossia *metamorfiche*. Vedrete come la varietà dei prodotti metamorfici derivi piuttosto dalla varietà delle rocce, che dalla diversità degli agenti: tra questi primeggia l'acqua, che trova il suo ausiliario principale nel gas acido carbonico.

816. Tipo dei prodotti metamorfici, da ascriversi al metamorfismo meteorico, sono i caolini. La caolinizzazione, che così si può chiamare questa specialità di metamorfismo, non è un fenomeno presentato da una roccia o da alcune rocce soltanto. Si può dire un fenomeno offerto, a scala maggiore o minore, da tutte le rocce composte di silicati. La decomposizione si verifica rapida e potente principalmente su certe specie di feldspato, e su qualche varietà di pirosseno e d'amfibolo. Distiuto è sopratutto l'ortoclasio come quello dalla cui decomposizione si ripete principalmente il vero caolino. L'esperienza dimostra che i due agenti della caolinizzazione sono, conformemente a quanto abbiam detto, l'acqua ed il gas acido carbonico, i quali agiscono con forza maggiore o minore sopra tutti i silicati (Naumann, *Lehrb.* I, pag. 725-727). Voi vedete infatti come le rocce feldspatiche si convertano in caolino, od in qualche cosa che gli si assomiglia, nelle regioni superficiali, principalmente sotto il terriccio, che vi mantiene costante l'umidità, cioè la presenza dell'acqua, carica di gas acido carbonico, tolto in parte all'atmosfera e in parte fornito dai vegetali in decomposizione. I grandi ammassi di caolino di Carlsbad in Boemia, di Saint-Yrieux in Francia ed in diverse località della Cornovaglia e del Devonshire, non presentano che un caso di *metamorfismo meteorico* dei graniti. Secondo Callery nei dintorni di Macau le montagne granitiche si caolinizzano al punto, che sembrano coperte di neve. Così si caolinizzano sovente i porfidi, le fonoliti, e le rocce in genere distintamente feldspatiche. Questo metamorfismo attinge talora considerevoli profondità. Il granito sienitico del Neelgherries nelle Indie Orientali è caolinizzato, secondo Benza, fino alla profondità di 40 piedi: il gneiss di Rio Janeiro e Bahia è, salvo il quarzo, convertito in una massa argillosa fino alla profondità di 100 piedi (Naumann, *ibid.* p. 728).

817. Le rocce superficiali sono esposte, meno universalmente ma non meno potentemente, ad un'altra serie di agenti che provengono dall'interno. Anche di questa specie di metamorfismo che potrebbe chiamarsi *metamorfismo idrotermale*, ci siamo già in diverse occasioni intrattenuti. Ricorderete infatti i fenomeni delle solfatare, dove, sotto l'influsso de' vapori acquei, associati ai gas acido carbonico, idroclorico, idrosolforico, ecc., agenti sui silicati, tutto si scolora, si decompone, si polverizza e si riduce in una massa fangosa. Nel cratere di Vulcano i vapori acquei, con gas idrosolforico, convertono l'obsidiana in una massa argillosa, della bianchezza della neve, e le sue cavernosità si tappezzano di gesso e di solfo. A Lipari i fumajuoli convertono la lava in una specie di tripoli di bianchezza abbagliante, e il tufo in una massa bianca, giallíccia, con nodi e druse di calcedonia. Il suolo della solfatara di Pozzuoli è, fino a grande profondità, composto di un fango bianco, dell'aspetto della calce spenta, prodotto dall'azione de' vapori sulle trachiti. Si può dire che tutti i distretti vulcanici presentano a vasta scala gli stessi fenomeni. Il cratere del Talaga-leri presso

Batur a Giava è, secondo Jnnghuhn, una paludo fumante, ove le rocce si stemprano a scala vastissima (Naumann, *Ibid.* pag. 731).

818. Quanto abbiam detto, qui ed altrove circa il *metamorfismo idrotermale*, basta, io credo, per darci un'idea generale dei fenomeni di questa natura, e ci libera dal dovere di perderci in una casistica infinita, la quale ci trarrebbe ben oltre i limiti segnati a quest'opera. Penso invece di arrestarmi quanto fa d'uopo sopra un fenomeno, che io considero come un caso di *metamorfismo esterno* o *superficiale*, e la cui importanza tutta geologica non potrà da nessuno negarsi. Trattasi di un fenomeno universale, presentato da tutte le rocce senz'eccezione. Trattasi inoltre di un fenomeno in genere male interpretato, meno ancora riconosciuto nella sua universalità ed unità, per cui, come ogni argomento ove siavi del nuovo o del contraddetto, esige una certa vastità di trattazione. Parlo del clivaggio delle rocce in genere, nel quale io non veggo, come dissi, che un caso di generale metamorfismo.

819. Col nome di *clivaggio* si indica, come abbiam detto altrove, quella facoltà che hanno le rocce di fendersi, o naturalmente, o artificialmente sotto la percussione, secondo certi piani determinati, isolandosi così in frammenti di forme geometriche, più o meno regolari. Prescindendo dalla *schistosità*, forma speciale di clivaggio, che ha una origine tutta sua propria, e di cui ragioneremo nel capitolo seguente, noi non distingueremo che due forme di clivaggio; l'una dall'altra dipendente, e a cui si riducono tutte le forme communemente distinte dagli autori: 1.° *forma poliedrica* o *basaltica;* 2.° *forma sferoidale concentrica.*

820. Cominciando dal *clivaggio poliedrico*, cui diremo anche, perchè lo è ordinariamente, *prismatico*, esso è talora così spiccato e regolare, da imprimere una fisonomia tutta speciale alle *formazioni* (*Parte seconda*, §. 265). I basalti offrono il tipo di tali formazioni a clivaggio poliedrico, per cui lo diciamo anche basaltico. La *Grotta di Fingal*, nell'isola Staffa, antro gigantesco, sostenuto da migliaja di colonne prismatiche; il *Pavimento de' giganti*, nella contea di Antrim in Irlanda, ove si cammina quasi sopra uno scacchiere di regolari poligoni; gli *Scogli de' Ciclopi*, tra Catania e Aci Reale, sorgenti dalle onde, quasi organi colossali; non sono che potenti masse di basalte, che, denudato dalla possa erosiva del mare, si mostrano divise, per naturale clivaggio, in colonne prismatiche d'una regolarità meravigliosa.

821. Quale è la causa di tale fenomeno? La si volle trovare nella disposizione originaria delle particelle componenti le rocce: la si cercò nelle leggi, dalle quali dipende il clivaggio dei cristalli, ai quali le rocce clivate, specialmente i basalti, hanno qualche cosa di simile nella forma: si immaginò una *pseudo-cristallizzazione.* Ma infine le erano parole, e nulla più.

G. Watt, che, lasciando raffreddare lentamente il basalto fuso, ci vide formarsi certe concrezioni sferoidali (§. 209), immaginò che i prismi basaltici fossero il risultato della mutua compressione di sferoidi contigui; quasi si trattasse di sfere elastiche, come quando vediamo assumere la forma poligonale alle bolle, che si formano sulla superficie del liquido, soffiando con un cannello entro la saponata. Noi vorremmo combatbattere un'ipotesi, che, spiegando un mistero, mille ne crea, se essa non fosse ormai sbandita dal campo della scienza, e sostituita, non già da una ipotesi, ma da verità, a cui non manca nemmeno un grado della più perfetta evidenza. A respingere l'ipotesi di Watt, o le altre consimili, quelle per esempio, di Mohs e di Roth (Zirkel, *Lehrb.* I. pag. 108), basate sull'idea d'una speciale disposizione molecolare, che ha luogo durante il raffreddamento di una roccia eruttiva, basti il fatto che il clivaggio poliedrico o basaltico è proprio non delle rocce eruttive soltanto, ma anche delle rocce

sedimentari, e, diciamo, di tutte le rocce, come meglio apparirà in seguito. I basalti non sono distinti per altro, che per presentare sviluppato per eccellenza un carattere, che è commune a tutte le rocce componenti la crosta del globo.

Fedeli al principio seguito finora, ossserviamo se la natura attuale ci presenti in atto l'isolamento di una massa rocciosa in frammenti poliedrici.

822. Il modo con cui si fende un solido qualunque, per effetto della contrazione, prodotta sia dal raffreddamento, sia dal prosciugamento di esso, parmi sia tale, che il cercare altrove le ragioni della forma colonnare dei basalti, e, in genere, del clivaggio prismatico delle rocce eruttive o sedimentari, è veramente lavoro superfluo. Noi abbiamo continuamentè sott' occhio mille esempî di un fenomeno, cui possiamo approfondire, senza punto staccarci dalle cose più volgari, più famigliari. L'argilla e il fango, che si disseccano al sole, la crosta della focaccia cotta al forno, non ci obligano certo a ricorrere a peregrine esperienze, per apprendere come operò natura, per riguardo alle rocce, che si contraggono. In tutti i citati esempî noi vediamo come le fessure siano talvolta con sorprendente regolarità reticolate, in guisa che il solido contratto è diviso in tanti poligoni. Faccio osservare come il piano delle screpolature sia, in tutti i casi, perpendicolare alla superficie refrigerante, o prosciugante. Un piano fangoso si fende perpendicolarmente: le screpolature di un pendio, egualmente fangoso, saranno oblique all' orizzonte, quanto gli è obliquo il pendio: le screpolature di una vernice, distesa su d'un mobile verticale, sono *parallele* all'orizzonte: una sfera di fango si screpolerebbe su tutta la sua superficie, cioè le sue fessure sarebbero *radianti dal centro e perpendicolari alla superficie sferica*. Non v'è ragione, perchè si consideri una nappa di lava, di trachite, di basalte, distesa sopra una superficie qualunque, o compresa in una fessura, altrimenti che come una crosta, una massa di fango, una grossa vernice qualunque. Trattasi sempre di una massa, ad un certo stato di dilatazione, per effetto del calore, e destinata a contrarsi per effetto del raffreddamento. Il risultato sarà sempre lo stesso. Quando la contrazione sia forte abbastanza, per vincere la coesione e determinare delle discontinuità, ossia delle fessure, queste saranno reticolate; il loro piano sarà perpendicolare alla superficie di raffreddamento, e la massa, divisa in tanti poliedri, presenterà un vero colonnato, perpendicolare alla superficie refrigerante.

823. Questo modo di spiegare il clivaggio poliedrico è già enunciato e accettato da autorevoli geologi. Zirkel (*Lehrb.*, I, pag. 78) e Bischof (*Lehrb.* III, pag. 183) affermano unanimi, il clivaggio poliedrico dalle rocce essere la conseguenza della contrazione, che ha luogo, o pel raffreddamento, nelle rocce eruttive, o per prosciugamento, nelle sedimentari. E invero trattasi di cosa semplicissima. Siccome però da altri si pensa altrimenti, e siccome d'altronde la bellezza, la regolarità, la grandiosità del fenomeno potrebbero rendere taluno meno disposto a riconoscervi un semplice effetto di screpolamento; troviamo opportuno di addentrarci nell'argomento, più che non si sia fatto finora.

824. In che consiste la contrazione, o meglio, la *contrattività*? Essa consiste in quella facoltà che hanno le molecole componenti un solido, date certe cause, di diminuire il proprio volume, di impiccolirsi, concentrandosi in sè stesso. Quando una molecola abbia una certa adesione con altre, non può concentrarsi in sè stessa, se non a patto, o che le molecole circostanti ubbidiscano all'impulso che le trae verso il centro della molecola contraentesi, o che questa rompa il legame d'adesione colle altre, e se ne separi in guisa, che rimanga tra essa e le altre, un intervallo vuoto. Nel primo caso avremmo l'impiccolimento dell'intera massa, formata da tutte le molecole che cedono

all' impulso della contrazione, come ci mostra la fisica con esperimenti noti a tutti; nel secondo caso avremo il volgarissimo fenomeno dello screpolamento. Ciò che abbiamo detto di una sola molecola, per rapporto alle masse ugualmente contigue, possiamo ripeterlo di una massa, per rapporto alle masse ugualmente contigue, cioè di una parte qualunque di un solido, per rapporto alle altre parti. Il raffreddamento come l'essiccamento sono due cause, che determinano ugualmente la contrazione, cioè la diminuzione di un corpo.

825. Se nella materia, che si raffredda o si prosciuga, avessimo una perfetta omogeneità di parti, e queste si trovassero tutte contemporaneamente nelle identiche condizioni, nessuna delle molecole potrebbe esercitare sulle altre un'azione prevalente. Ne nascerebbe un perfetto equilibrio, sicchè tutte si attrarrebbero mutuamente, quando la coesione di ciascuna molecola superasse in potenza la contrazione, o si staccherebbero tutte l'una dall'altra, quando la coesione fosse così debole da esser vinta dalla contrazione. Ne risulterebbe nel primo caso l'impiccolimento della massa raffreddata, o prosciugata, equivalente alla somma delle contrazioni di ciascuna molecola: nel secondo caso una massa disgregata, pulverulenta.

826. Ma tale omogeneità di composizione, e tale identità di condizioni, non possono essere che meramente ipotetiche. Una vernice finissima, e un intonaco di pece bollente, distesi sopra una tavola levigatissima, non potranno, l'una prosciugarsi, l'altra raffreddarsi contemporaneamente su tutta l'estensione della tavola: tanto meno poi una massa di fango, distesa su larga ineguale pianura, o una corrente di lava, che stagna ai piedi di un vulcano, o riempie gli irregolari crepacci di un monte. Avverrà dunque indubbiamente che la massa si raffreddi o si prosciughi prima in alcuni punti, in altri dopo; che si determinino cioè contemporaneamente, o successivamente, diversi centri di prosciugamento o di raffreddamento, a certe distanze fra loro. Il fenomeno è, se non identico, almeno molto analogo a quello che si osserva nella cristallizzazione delle masse di una certa estensione, per esempio, nel congolamento di uno stagno. I cristalli di ghiaccio si mostrano dapprima isolati in masse, radianti da centri sparsi a intervalli sulla superficie dello stagno, finchè, moltiplicandosi i centri e dilatandosi le masse, tutto lo stagno si copre di ghiaccio. Trattandosi poi del determinarsi successivo dei diversi centri, la distanza di tempo che li separa, sarà tanto maggiore, quanto più decisa sia la diversità delle condizioni, in cui si ponno trovare. Fra le condizioni ve ne sono naturalmente di intrinseche alla massa, per esempio le diversità chimiche, fisiche, mineralogiche, delle parti costituenti una lava; e in questo senso la diversità delle condizioni sarà tanto più decisa quanto meno la massa sarà di struttura e di composizione omogenea. È un punto questo da rimarcarsi assai.

827. Ammesso dunque che si formi un certo numero di centri di contrazione, ognuno di questi centri tenderà ad attrarre a sè le particelle a immediato contatto, e queste agiranno nello stesso senso sulle vicine, e così via via; sicchè l'effetto del concentramento, quando non trovi un ostacolo, si estenderà tutto all' ingiro, sopra raggi di lunghezza indefinita. Se la massa intera gode di una forte coesione, ed è libera ne' suoi movimenti; se è omogenea nella sua composizione; se la contrazione ha luogo con una lentezza e con una gradazione proporzionata alla resistenza, i centri tenderanno ad avvicinarsi mutuamente, e l'intera massa si contrarrà, cioè diminuirà di volume, senza spezzarsi. Una sfera metallica adempie a tutte le accennate condizioni, e si contrae perciò senza screpolare. È volgare l' esperimento, con cui sogliono i fisici rendere evidente il fenomeno della dilatazione dei corpi, pel riscaldamento, e della loro contrazione, pel raffreddamento. La sfera di ferro che, arroventata, non passa at-

traverso ad un annello d'un certo diametro, ci passa comodamente appena si raffreddi. Tutta la massa di quella sfera si è contratta, senza rottura di sorta. Ma una verga di ferro si spezzerebbe anch'essa, quando inconcontrasse una resistenza superiore alla sua coesione; e sappiamo almeno di fatto come le chiavi di ferro, con cui si assicurano le arcate, si contraggono talora, raffreddandosi, con tal forza, da spezzare le pietre a cui sono raccomandate. Diceva anche, che la contrazione deve agire gradatamente, con lentezza proporzionata alla resistenza che le oppone la massa da contrarro, e basta l'esempio della lastra di vetro, fortemente riscaldata, la quale, mentre si contrae senza rompersi, quando la si lasci raffreddare spontaneamente, si spezza immediatamente, appena la si tocchi in un punto con un panno bagnato. In ultima analisi, dato un ostacolo qualunque, una qualunque resistenza alla contraziono di una massa qualunque, questa dà luogo ad una rottura, quando la coesione non superi la resistenza. I metalli e le sostanze che più si avvicinano ai metalli, per l'elasticità, per l'omogeneità, e per tutte le proprietà, che determinano una maggiore coesione delle parti fra loro, sono i più atti a contrarsi senza rottura: per l'opposto le sostanze terree, petrose, molto più le inomogenee, come lo sono in genere eminentemente le rocce vulcaniche, sono anche le meno coerenti, e come tali più facilmente sentiranno gli effetti di una resistenza, che si opponga alla contrazione; più facilmente nel contrarsi si spezzeranno. Tanto più ciò si deve ammettere, in quanto che risulta dalla esperienza, che la dilatazione delle sostanze lapidee, per effetto del calore (quindi la contrazione per effetto del raffreddamento) si può ritenere in genere non inferiore e forse superiore a quella dei metalli, che è pure fortissima, come tutti sanno. L'indicata superiorità è assicurata almeno alla aragonite, alla baritina, al quarzo ecc. dalle esperienze di Kopp (Daguin, *Traité elem. de physique.* Vol. 2, pag. 178). Avremmo dunque per le rocce assicurata in genere una decisa prevalenza della forza contrattile sulla forza di coesione, cioè le condizioni più opportune alla rottura.

828. Poniamo dunque il caso di una massa di lava, in cui la forza di coesione non sia sufficiente a resistere alla contrazione, che irradia da due centri. Certamente le particelle, attratte verso un centro, dovranno separarsi da quelle attratte verso un altro centro, il che vuol dire che avverrà una spezzatura. Esaminiamo or bene, diotro le premesse, come debba avvenire la cosa.

829. Supponiamo sulla superficie di una corrente, o meglio di uno stagno di lava, incandescente, un primo punto di raffreddamento, ossia un primo centro di contrazione c^1, rappresentato da una molecola qualunque. Questa contraendosi, esercita, per la forza di coesione, una vera attrazione sulle molecole tutte, e tale attrazione si irradia in tutti i sensi, fino a distanza indefinita, operando fin là dove non incontri un ostacolo. Nel caso nostro un ostacolo sicuro dovrà incontrarsi in quegli altri centri di contraziono, che abbiam detto doversi necessariamento determinare in una massa, ove non si verifichi l'assoluta identità di condizioni per ogni molecola, ond'è composta. Questi centri quando si determinino o contemporaneamente o successivamente al primo, svilupperanno una forza contraria tale, che, o ne elida in parte lo sforzo, o in parte ne distrugga posteriormente l'effetto. Sia il centro di contrazione c^2 che si determina contemporaneamente al centro c^1. Esercitando anch'esso la sua forza di attrazione tutto all'ingiro, e quindi agendo nella direzione delle linee bc^2 dc^2, si trova in opposizione al centro di contrazione c^1, che attrae invece nella direzione delle linee bc^1 dc^1. Abbiamo dunque due forze opposte, rappresentate da due fasci di raggi, di cui fanno parte pel primo le linee bc^2 dc^2 e pel secondo le linee dc^1 bc^1, e che coincidono sulla linea bd. Le molecole poste su questa linea bd saranno ugualmento at-

tratte verso i due centri, sarà cioè questa la linea di indifferenza, la linea sulla quale si trovano disposti i punti di resistenza minima: sarà quindi la linea di rottura.

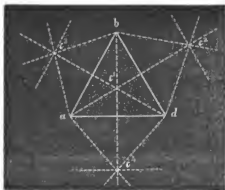



Fig 33. — Teorica della basaltizzazione.

830. Pigliando di nuovo il centro di contrazione c' e ripetendo la stessa dimostrazione per rapporto ai centri c^2, c^4, arriveremo agli stessi risultati; vedremo cioè determinarsi, rispettivamente a ciascuno dei duo nuovi centri di contrazione, due nuove linee di spezzatura, la linea *ab* e la linea *ad*. Una parte adunque della supposta lava avrà già assunto la forma d'un prisma, avente per base il triangolo *a b d*. È questa la forma più semplice che presentano i poliedri di basalte, o di una roccia qualunque, eruttiva o sedimentare, a clivaggio prismatico.

831. Noi abbiamo supposto il caso più semplice. Ma, in luogo di tre soli centri di contrazione laterali a un prisma, potevamo supporne quattro, cinque e più ancora, il risultato sarebbe sempre un prisma a tante facce, quanti sono i centri di contrazione. Così tutto il discorso precedente fu rivolto a dimostrare come si determini un prisma, per effetto di contrazione; ma nulla troveremmo d'aggiungere alla dimostrazione, quando volessimo renderci ragione della formazione d'un gruppo di prismi, di un'intera massa prismatica, pari in estensione ai grandi colonnati basaltici. Naturalmente, mentre i centri c^2 c^3 c^4, nella figura 33, limitano l'azione del centro c', determinando ciascuno dei tre, in concorso coll'altro, una linea di frattura, essi centri sono limitati nella loro azione da altri, e determinano, in concorso con essi, la formazione di altri prismi. La forma di essi prismi dipenderà sempre dal numero dei centri di contrazione, che tendono a limitarsi mutuamente. Nessuna legge si troverebbe che possa *a priori* fissare il numero, la distribuzione, la distanza relativa dei centri di contrazione, nè quindi o il numero dei prismi o quello delle facce di ciascuno di essi. Ne potrà quindi risultare un gruppo di prismi di forme e di grossezza, diversa, aventi un qualunque numero di facce, disegnante, colle linee di frattura, una rete a maglie poligonali, irregolari, quale vedesi disegnata da qualunque o vernice o piano d'argilla che si screpoli.

832. Venendo ora ad osservare in effetto come si presentano le masse rocciose a clivaggio prismatico, dovremo confessare, che la loro superficie, o per meglio il piano perpendicolare alla direzione dei prismi, presenta nè più nè meno di una rete poligonale, la quale, per quanto ci possa talvolta stordire coll'aspetto di una sorpren-

dente regolarità, si assomiglia pur sempre a quella, che ci offrono le superficie screpolate. Così, per esempio, si presenta la corrente di lava prismatica, eruttata dal Vesuvio nel 1631 che ancora si scava tra Portici e Torre del Greco, stando al disegno presentato dalla tavola 1ª dell' *Atlante geologico* di Breislak (*Institutions géol.*), e così del pari si presentano tutti i pavimenti basaltici, che lo potei vedere o sulle figure o sul vero.

833. Molti fatti provano che i piani di clivaggio, cioè i piani di separazione tra i diversi poliedri, tanto ne' basalti come nelle rocce che ne imitano, più o meno decisamente, la forma, sono piani di frattura, determinati dalla contrazione nella solida roccia.

1° I piani di clivaggio sono veri piani di discontinuità. Anzi vi ha talora un vacuo considerevole tra le facce dei poliedri, e desso vacuo trovasi poi riempito da sostanze introdottevi per infiltrazione, che saldano i poliedri fra loro. Più volte, nota il Fortis, le giunture de' basalti sono riempite di sostanze cristalline, nominatamente dal carbonato di calce, quando i basalti sottostanno a rocce calcaree (*Mém. pour servir à l'hist. nat.*, pag. 255). Nei serpentini di Oropa, sopra Biella, ove ben deciso, benchè irregolarissimo, è il clivaggio poliedrico, i piani di clivaggio sono, direbbesi, inverniciati di crisotile, o serpentino fibroso, che si riconosce come prodotto di infiltrazione.

2.° Si scorgono talora i cristalli, costituenti la roccia, spezzati sulla sutura, e divisi fra due poliedri. Il Fortis, nell'opera citata (pag. 83), parlando dei prismi basaltici di Castaneda, nota come essi si suddividano in prismi minori, e come i noduli di crisolite (olivina), di cui la roccia è carica, incontrandosi sul piano di separazione, restano divisi in due. Nodi di olivina, spezzati in due metà corrispondentisi sui piani di clivaggio, osservò pure lo Scrope nei colonnati basaltici del Vivarais, presso Burzet Lo stesso fenomeno presentarono a Bischof i noduli di ferro magnetico nei basalti di Oberwinter, sul Reno; e a Faujas Saint-Fond i pezzi di granito, interclusi nei basalti di Briden, e i fossili contenuti negli strati sedimentari, che offrivano un clivaggio poliedrico (Zirkel, *Lehrb.* I, pag. 109).

3.° Secondo le osservazioni di Delesse, la densità della roccia, anche prescindendo dallo stato di decomposizione superficiale, è maggiore nelle parti centrali che nelle parti perimetriche dei prismi di basalte, di trapp, ecc.

4.° Si trovano frequentemente basaltizzate le rocce di qualunque natura, a contatto colle rocce eruttive. Il fenomeno è offerto volgarmente dai grès, dalle ligniti, dai litantraci, coperti o traforati dai basalti, dai trapp, ecc. I loro colonnati, talora esilissimi, non la cedono nè per bellezza, nè per regolarità, ai migliori colonnati basaltici. È evidente in questi casi che le rocce basaltizzate si dilatarono dapprima, per effetto del calore a contatto delle lave, e screpolarono poi, dividendosi in prismi, per effetto del raffreddamento.

5.° Le rocce presentano tanto più deciso il clivaggio poliedrico, quanto meglio adempiono alle condizioni volute dalla teorica. Ciò si osserva assai chiaramente nelle rocce sedimentari. I grès, le rocce argillose, più suscettive d'imbeversi d'acqua e quindi di dilatarsi per contrarsi in seguito maggiormente, prosciugandosi, si mostrano divisi in poliedri più sovente e più decisamente dei calcari.

6.° Le lave, anche raffreddandosi istantaneamente, si dividono in masse poliedriche. Il raffreddamento e l'indurimento sulla superficie di una lava, sono come abbiam visto, assolutamente istantanei. È caso ordinario che l'osservatore possa inoltrarsi senza pericolo sopra una corrente di lava incandescente. La parte superficiale,

come rapidamente si raffredda, così rapidamente si contrae, si screpola, si fende in pezzi, che, spostati dal moto della corrente, rizzati, rovesciati gli uni sugli altri, si trovano poi levarsi irti dalla superficie della corrente stessa, fino all'altezza di 10, di 20, di 50 e fin di 60 piedi. Queste masse, dice lo Scrope, piglierebbonsi talvolta per dicchi, affettando esse una struttura prismatica rudimentare. Talora, aggiunge lo stesso autore, la lava, o deprimendosi, o contraendosi per la perdita del calore e dei vapori, screpola fino alla profondità di parecchi piedi, dividendosi in massi staccati, più o meno cubici (*Les volcans*, pag. 71).

834. Un modo così semplice di spiegare un fenomeno in apparenza così complesso non capaciterà facilmente ciascuno. Prevedo che dalle specialità dei fatti si sapranno cavare delle difficoltà, cui ci giova prevenire. Primieramente lo screpolamento di un solido, fenomeno così volgare, presentato ad ogni tratto dai nostri mobili, dalle nostre pareti, ci appare anche come un fenomeno tutto superficiale, e si accorderà difficilmente che colonnati di più metri di altezza non rappresentino che pezzi di un intonaco, per così chiamarlo, isolati da screpolature. Tutta la difficoltà, per mio credere, viene da ciò, che non così facilmente ci occorrerà di osservare un intonaco che abbia in effetto più metri di spessore. Ma chi abbia visto una sol volta come si screpoli un piano fangoso, emunto da lunga siccità, non si meraviglierà punto di qualunque profondità possano attingere le screpolature, quando si avverino spessore di massa, addatta struttura, lunga durata, e tutte le condizioni per produrre il fenomeno a grande scala. Nè vi sarà nemmeno chi domandi, perchè, dato un primo isolamento di prismi alla superficie, questi debbano prolungarsi nell'interno in guisa, da formare dei colonnati, aventi per base i poligoni, disegnati dallo screpolamento della superficie. Se il fatto non ci fosse mostrato dall'esperienza, in ogni massa che si screpola, il raziocinio ce lo avrebbe detto: poichè, dovendo le fratture aver luogo sopra linee di resistenza minima, queste saranno nell'interno della massa corrispondenti alle linee delle fratture già determinatesi alla superficie, ove è già rotta la coesione delle molecole, che potevano impedire la rottura, ossia l'allontanamento delle molecole sottoposte. Avverrà quindi che le facce dei prismi, qualunque ne risulti la lunghezza, non saranno che il prolungamento dei piani perpendicolari alla superficie, determinati dalla frattura dello strato superficiale. Non altrimenti se io lacero una tela, un foglio di carta, veggo che la linea di lacerazione non è che il prolungamento di una prima linea di divaricamento, determinatasi sul lembo del foglio lacerato.

835. Può darsi il caso però che una massa sia esposta a raffreddarsi o a prosciugarsi da due o più lati, offra cioè due o più superficie di raffreddamento, o di prosciugamento, alle quali corrisponderanno due o più sistemi di screpolature superficiali. Si domanda come si comporteranno i prismi nell'interno? È naturale rispondere che anche l'interno della massa presenterà altrettanti sistemi di prismi, quante sono le superficie che li determinano; quindi le più bizzarre complicazioni, quali si notano pur qualche volta nelle masse basaltiche, ma che agevolmente si spiegherebbero, quando fosse possibile di riportare dei prismi in gruppi isolati dalla erosione, alle rispettive superficie, per avventura distrutte. Nel caso pratico però tali complicazioni sono rare; e devono esserlo in effetto, quando si considerino le condizioni in cui debbono essersi trovate le rocce che noi ora consideriamo.

836. Fermandoci alle lave, chè non sono altra cosa i basalti, le trachiti, i graniti ecc., troviamo infatti come le loro condizioni di giacimento si possono ridurre a due soltanto. O giaciono sotto forma di espandimento alla superficie; o riempiono, sotto forma di dicchi, i crepacci dei monti. Una massa di lava, sotto forma di espan-

dimento superficiale, presenta due superficie di raffreddamento; una in rapporto, più o meno immediato, coll' atmosfera; l'altra in rapporto col suolo. Mi credo dispensato dal dimostrare come, delle due superficie, la più soggetta a raffreddarsi è senza dubbio quella esposta all' atmosfera; mentre lentissimo deve essere, in confronto, il raffreddamento della superficie in contatto col suolo, ossia il fondo del lago di lava. Può tuttavia avvenire che, la porzione superficiale della corrente, raffreddandosi prontamente, e formando quel tetto di basalte non colonnare, o diviso in poliedri grossolani, che copre ogni colonnato basaltico, esso tetto eserciti sulla parte più profonda dell' espandimento una tale azione coibente, che la superficie del suolo, ricoperta dallo stesso espandimento, prevalga nell' azione refrigerante. Scrope è d' avviso che infatti la formazione delle colonne cominci dal sotto in su. Io non credo che ciò si avveri se non eccezionalmente, come lo dimostrano molti fatti che andremo riportando. Ad ogni modo nella formazione dei prismi, una delle superficie avrà una sentita prevalenza sull' altra, e prismi dipendenti dall' una si prolungheranno assai più nell' interno, che non i prismi dipendenti dall' altra. Anzi, se osserviamo i fatti, dovremo conchiudere che il raffreddamento di una delle superficie, che io ritengo, essere l' inferiore è, se non nullo, nella maggior parte dei casi, così debole e lento, che vedesi prevenuto nell' effetto dal raffreddamento, e dalla conseguente contrazione della superficie superiore, la quale resta sola a determinare l' interna divisione di tutta la massa. Ne fanno testimonianza gli stupendi colonnati basaltici, ove i prismi, tutti d' un getto, misurano per intero lo spessore della massa di lava, rizzandosi immediatamente sulla roccia sottoposta, che formava l' antico suolo coperto dalla corrente. Così vediamo nell'*Atlante* di Breislak sorgere immediatamente dai letti di marna conchifera il colonnato di Masegna (trachite) dei colli Euganei (Breislak, *Ist. géol. Atlas*, pl. 39) e i colonnati basaltici dai tufi stratificati nei dintorni di Viterbo (*Ib.* pl. 42 e 44): così gli interstrati regolarissimi di melafiro, dello spessore di 5 a 200 piedi, nel carbonifero dell'Hunsrück, sono descritti da Dechen come formanti regolari colonnati, normali agli strati sedimentari (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 730).

837. Nel dicco le condizioni sono affatto mutate. Per una massa di lava che occupi una crepatura di forma ordinaria, le due pareti del crepaccio costituiscono due superficie refrigeranti, e i prismi, come si è già detto, e come di fatto avviene, seguiranno una direzione normale alle superficie stesse. Non è difficile nel caso che anche nel dicco una delle due superficie refrigeranti eserciti un' azione prevalente, o perchè più presso alla superficie del suolo; o perchè miglior conduttore del calorico, o per altra ragione. Fatto sta che anche i prismi dei dicchi sono pure sovento di un sol getto. Tali, per non dipartirci dall'*Atlante* di Breislak, si ammirano e il celebre circo basaltico d'Ashna-cregs nell' isola di Mull, una delle Ebridi (pl. 10), e gli stupendi dicchi di lava dell' isola Borbone (pl. 50) e quelli a tutti noti del Monte Somma, visti dall'Atrio del cavallo (pl. 45). Bisogna che basti pur poco a far sì che una delle superficie refrigeranti prevalga sull' altra, imponendo da sola la direzione ai prismi, se veggonsi talora dicchi di considerevole potenza che presentano un colonnato d'un sol getto. Un esempio che mi ha veramente stordito si è quello del gran dicco basaltico che si ammira sul fianco del Grosserweilberg, nel Siebengebirgo. Trattasi di un dicco, della potenza di forse 20 metri, fiancheggiato dai tufi, in cui venne injettato. Tutto il dicco è ora trasformato in un colonnato stupendo. Le colonne sono oblique all' orizzonte, ma normali alle due superficie del tufo. La parte che trovasi, da ambo i lati, a contatto col tufo, presenta quella forma prismatica grossolana, cui sempre affettano le masse basaltiche nella porzione che sta tra la

superficie refrigerante, e il regolare colonnato: qui le colonne costituiscono la parte media, e hanno una lunghezza di 12 metri. Tuttavia non mi accorsi di nessuna linea di discontinuità che segnasse un confine all'azione delle due superficie opposte. Ad ogni modo la diversità dell'azione refrigerante delle due pareti del dicco deve farsi sentire, e ne rimasero infatti più volte le tracce più evidenti. Anzi lo Scrope (*Les volcans*, pag. 99) afferma, che la maggior parte dei dicchi colonnari presentano un filone di lava amorfa nel centro, ossia un piano irregolare, che separa le due metà del dicco, segnando in pari tempo i confini all'azione delle due superficie. Questo fenomeno presenta evidentemente il gran dicco basaltico, che forma la vetta del Dictunata Gonla in Transilvania, figurato nell'*Atlante* di Breislak (pl. 24). È anzi facilissimo che, non solo un piano di lava amorfo, ma un vero piano di discontinuità segni i limiti della contrazione, agente in senso opposto, sopra le due metà del dicco, in direzione normale alle due superficie. E accenna infatti lo Scrope, come talvolta un nuovo getto di lava è penetrato nel filone centrale, costituendo un dicco nel dicco.

838. Abbiamo però finora considerato il dicco come incassato in una spaccatura ordinaria, intendendo di assegnare l'epiteto alle spaccature, le cui pareti presentano due piani più o meno paralleli. Ma le spaccature possono offrire un mondo di accidenti, i quali avranno un'influenza sulla formazione dei prismi. Praticamente però ogni difficoltà sarà tolta, quando si ritenga il principio, che la direzione dei prismi deve essere normale alle superficie refrigeranti. Una delle più ordinarie accidentalità dei dicchi basaltici è quella di fasci o gruppi di prismi radianti, riferibili a un centro commune. Supposta infatti una curva della superficie refrigerante, i prismi, per essere normali ad essa superficie, dovranno convergere verso il centro della curva. Il fenomeno brilla evidente nei dicchi, o in quelle porzioni di dicchi basaltici, che rappresentano delle sferoidi, composte di colonne radianti da un centro commune verso una superficie sferoidale. Basta attribuire a tutta, o a parte della cavità, entro cui si formò il dicco, la forma di uno sferoide cavo, basta suppòrre infine delle caverne, quali si incontrano sovente in seno alle montagne vulcaniche, per intendere come la massa di lava, che per avventura riempia una di tali caverne, debba presentare a suo tempo uno sferoide a prismi radianti.

839. Uno de' più begli esempî ci è fatto conoscere dal Lyell nella rupe di trapp, detta Rock and Spindle (Rocca e fuso) presso Saint-Andrews in Scozia. Trattasi di uno sferoide di greenstone, del diametro di 3 o 4 metri, composto di prismi colonnari, radianti dal centro dello sferoide (Lyell, *Manuel*, fig. 679). Ma ancora più classico, perchè a scala ben maggiore, è l'esempio offerto dalla rupe di Saint-Sandoux nell'Alvernia, il cui disegno, tolto dall'*Enciclopedia* francese, ci è presentato dalla tavola 20 dell'*Atlante* di Breislak. Trattasi di un enorme sferoide di basalte, costituente una collina, e spaccato in guisa da vedersene a nudo la singolare compagine.. miliardi di prismi a cinque, a sei, a sette, a otto facce, sovrapposti, e inclinati verso un centro in guisa da formare, come scriveva Grand-D'Aussy, una montagna in forma di palla (Breislak, *Istit. géol.*, pag. 490).

840. Forse ancor più meritevole di osservazione è la rupe detta Werregotsch nelle vicinanze di Aussig, sulla sinistra dell'Elba, ai confini della Boemia colla Sassonia. Quei dintorni offrono quanto ha di più interessante il distretto vulcanico della Boemia. Basalti e trachiti colonnari formano un bel gruppo di fantastiche rupi, sorgenti dai tufi, o dai detriti vulcanici, degradati da profonda erosione. Mirabile fra gli altri, per grandiosità e bizzaria di forme, e per varietà di accidenti geologici è il

gruppo di nero basalte, che vedrassi fiancheggiare l'Elba, da chi, appena uscito da Aussig, segua, per circa mezz'ora, la strada ferrata che si volge a mezzodì verso Praga. Una enorme corrente di lava, a foggia di piattaforma, sostenuta da gigantesco colonnato, corona quella specie di terrazzo, che fiancheggia l'Elba in quel punto. Quella lava trovò evidentemente l'uscita a suo tempo da una enorme squar-

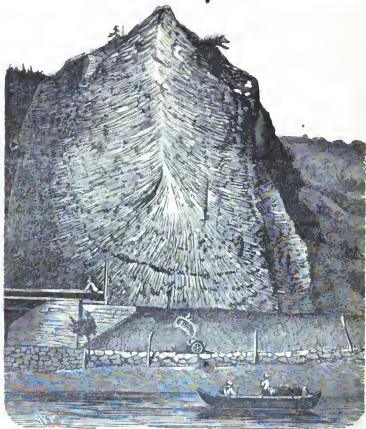



Fig. 34. — Il Werregotsch.

ciatura, che, rimasta ostrutta dalla lava medesima, convertissi in dicco gigantesco. Quel dicco non è altro che il Werregotsch, che si rizza verticalmente, sulla sponda sinistra del fiume, all'altezza di forse 80 metri, facendo simmetria alla rupe trachitica dello Schreckenstein, che sorge invece sulla destra colle pittoresche rovine del suo castello. Il Werregotsch è un gruppo basaltico, colonnare, il più perfetto; ma la sua singolarità consiste nella disposizione dei prismi. Il nome stesso la accenna, poichè Werregotsch, nel linguaggio del paese, vorrebbe dire *pettinatura di donna;* e per vero dire quei prismi si irradiano, non da un centro, ma da una linea mediana, quasi capelli spartiti da una dirizzatura, che passi dalla fronte alla nuca, congiun-

Digitized by Google

gendosi tuttavia alle due estremità, in guisa da formare una specie di rosa elittica. E trattasi infatti di ciò che si direbbe un elissoide di raffreddamento, cioè di una cavità elissoidale, riempita di lava, che concretossi in prismi, i quali, partendo in linea normale dalla superficie di raffreddamento, misero capo all' asse dell' elissoide. Il gruppo basaltico, di cui fa parte il Werregotsch, si può citare veramento come classico per la dimostraziono del principio, cho i prismi basaltici sono perpendicolari alle superficie di raffreddamento. Noi ci abbiamo infatti il gran corpo della corrente, disteso sull' altipiano, e formante gigantesco colonnato verticale, como in tutti i casi di espandimenti di lave. Il Werregotsch è un esempio della struttura radiante, prodotto nei dicchi da superficie curve: nè manca, a fianco di esso, a sud, un dicco minore, che si erge verticalmente, a foggia di rudero di un muraglione, alto forse 15 metri, e consta di una catasta di prismi orizzontali.

841. Ciò che può, più d' ogni altro argomento, renderci ripugnanti a riconoscere nella struttura basaltica un semplice fenomeno di screpolamento, è la sorprendente regolarità di quei prismi, di quei colonnati. Essa è tale certamente che a prima giunta ci sentiamo condotti a riconoscervi piuttosto alcun che di affine alle forme geometriche dei cristalli, cho al fortuito intreccio di una serie di screpolature Ma il concetto della cristallizzazione, quale ci è dato dalla cristallografia ò tale, cho per nessun modo può applicarsi ai solidi inomogenei, a impasti di cristalli, aventi ciascuno una propria forma prestabilita, come lo sono i basalti e le rocce eruttive in genere, e peggio ad aggregati di frantumi di roccia, come lo sono lo arenarie ed altre rocce sedimentari, le quali hanno pur così poco talora da invidiare ai basalti, per la bellezza del loro clivaggio prismatico. Del resto la regolarità delle forme non esclude nessuna delle cause che si possono supporre averle determinate, quando qualunque delle cause supposte possa agire costantemente ad un modo, producendo sempre lo stesso effetto; chè nella riproduzione costante dello stesso effotto sta appunto il concetto della regolarità, per ciò che riguarda i fenomeni fisici. Se la contrazione che opera lo screpolamento agisce sempre ad un modo; se cioè sono sempre allo stesso grado la potenza e la resistenza, il che suppone la stessa distribuzione dei centri di contrazione, quindi la stessa disposizione delle molecole, o, per dir tutto in una parola, sempre e ovunque le identiche condizioni della massa che si contrae; l' effetto prodotto sarà sempre e ovunque lo stesso; i prismi, risultanti dallo screpolamento, saranno perfettamente uguali fra loro, e la massa presenterà una regolarità tale, cho imiti al vero la compagine del più perfetto cristallo.

842. Lo Scrope, strenuo propugnatore della teorica dello screpolamento, volle anzi fissare *a priori* la forma dei prismi, nel supposto di tutte quelle condizioni, che valgano ad assicurare la massima regolarità del fenomeno. Sarebbe il prisma esagonale, una delle forme che infatti si incontra più facilmente nelle colonne di basalte. Egli così ragiona in proposito: Supposto in tutta la massa, che si contrae, la perfetta identità delle condizioni; i centri di contrazione debbono essere equidistanti, ed eguali i circoli sottomessi alla loro influenza. Ogni fessura, dovendo formarsi sulla tangente di due circoli vicini, il che equivale, secondo il modo nostro di esprimerci, al formarsi sulla linea di coincidenza dei raggi che emanano da due centri di contrazione, la massa rimarrà necessariamente divisa in altrettanti esagoni. La figura 35, tolta dallo Scrope (*Les volcans*, pag. 97), serve meglio di qualunque dimostrazione. Ma siccome la perfetta identità delle condizioni in tutte le parti di una massa di lava non può essere che ipotetica; così il caso della regolarità supposta dallo Scrope non si verifica mai. Anzi, se nei basalti spesso predomina l' esagono, in altre lave,

Digitized by Google

nelle trachiti, nei porfidi, nei graniti ecc. più spesso predomina il quadrilatero. Io credo quindi che il caso della equidistanza dei centri di contrazione, supposto dallo Scrope, è già un caso parziale, che suppone certe parziali condizioni. Infatti dal supposto della perfetta identità di condizioni di una massa soggetta a contrarsi non de-

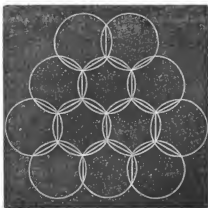



Fig. 35. — Teoria de' basalti secondo Scrope.

riva come necessaria conseguenza l'esistenza di centri di contrazione equidistanti. L'esistenza di un centro di contrazione, distrugge anzi il supposto della perfetta identità della massa, non potendo una molecola farsi centro alle altre, se non è appunto in condizioni diverse dalle altre.

843. Volendo stabilire un principio, per spiegare il fenomeno in questione, questo deve aver già per base il supposto della diversità delle condizioni delle diverse parti, componenti una massa; ammettere quindi l'esistenza di certi centri di contrazione, e pronunciarsi con una formola così generale, che includa tutti i casi possibili di distribuzione di essi centri. Io lo formulerei così: data in una massa una distribuzione uniforme dei centri di contrazione, risulterà eguale la distribuzione delle fessure, e la massa sarà divisa in parti uguali, cioè presenterà una struttura prismatica regolare. Allora intendo, come in una corrente di lava, che sgorga da un dato orifizio vulcanico, con una data temperatura, con una data miscela di minerali e si spande sopra un dato suolo, in date circostanze, si raffredda con una data graduazione, possa verificarsi una tale, non identità, ma uguaglianza di condizioni, che la distribuzione dei centri di contrazione sia approssimativamente uguale: e come in un'altra corrente, mutate le condizioni di temperatura, l'indole dei minerali componenti, ecc., si verifichi un'altra distribuzione dei centri di contrazione, per cui, se la prima, per esempio, si divise in prismi esagoni, la seconda invece si divida in semplici quadrilateri.

844. Ma ancora parrebbe che ci credessimo in dovere di rendere conto di una regolarità, la quale, se non si può negare affatto, non si può concedere che in un senso assai largo, come si verifica nelle più volgari screpolature. I celebri colonnati della Caverna di Fingal nell'isola di Staffa, il Pavimento de' giganti nella Contea d'Antrim in Irlanda, i gruppi basaltici del Vivarais e dell'Alvernia, quelle migliaja di colonne prismatiche che, strette in colossali fasci dell'altezza di 30 e fin

Digitized by Google

di 40 metri, imitano così bene, ma a grande scala, certi pezzi di gotica architettura, offrono uno spettacolo d'infinita attrattiva. L'occhio, avvezzo alle forme svariate, bizzarre, fantastiche, in cui sta tutto il segreto delle alpine bellezze, è singolarmente colpito da quell'aspetto, di regolarità che spicca in un modo così eccezionale nelle formazioni basaltiche. Ma quella specie di illusione ottica scompare, quando subentri l'analisi. Ho potuto osservare, sia nell'Italia centrale e meridionale, sia in Germania, migliaja e migliaja di colonne basaltiche, talora sciolte e accatastate come pietre da costruzione. Nelle provincie Renane, per esempio, i paracarri, che fiancheggiano le strade non sono communemente che monconi di colonne basaltiche, messi in opera tali e quali natura li dà. Posso assicurare, che difficilmente avrei saputo sceglierví un pezzo degno di figurare in un museo. Le stupende colonne che si ammirano nei musei di Germania e di Francia, sono da considerarsi come pezzi abbastanza eccezionali. In generale nè gli spigoli sono così bene accusati, nè le facce così piane, ed uguali, o di larghezza appena uniforme. Trattasi invece d'ordinario di poligoni molto irregolari. Confrontando una colonna coll'altra, ne troverete nello stesso fascio, a contatto l'una coll'altra, d'esili e di grosse a piacimento. Contercte in colonne dello stesso gruppo, tre, quattro, cinque, sei, sette, otto, nove facce. Breislak descrive circa una cinquantina di gruppi basaltici, e, quando accenna al numero delle facce dei prismi, accenna pure quasi ogni volta alla variabilità di esso numero. È cosa che ho verificato io stesso nei gruppi basaltici dell'Italia e della Germania. Se varie sono le dimensioni delle colonne, se vario è il valore degli angoli, varî il numero e la larghezza delle facce; in che cosa consiste codesta vantata regolarità dei prismi basaltici? in che differiscono dai prismi in cui si divide qualunque massa che si screpoli?

845. Esclusa quella regolarità, che potrebbe far rivivere l'idea di una pseudo-cristallizzazione, non possiamo negare però dei fatti, che si opporrebbero al concetto di quella assoluta irregolarità, che sembra caratteristica delle reti poligonali, quali lo screpolamento disegna ovunque sotto i nostri occhi. Di due principalmente ci proponiamo di indagar le ragioni:

1.° Ammesso che il clivaggio poliedrico delle rocce sia per tutte un fenomeno di semplice screpolamento; perchè le diverse rocce offrono a preferenza certe forme, che possono dirsi loro caratteristiche? — È un fatto, che i prismi de' basalti presentano in genere un maggior numero di facce, e che nei diversi gruppi predomina una forma, che è talora il pentagono, talora l'ettagono, più spesso l'esagono. I graniti, le trachiti, i porfidi, i grès si mostrano invece d'ordinario in prismi regolari, cioè quadrilaterali.

2.° Perchè i basalti presentano un clivaggio prismatico, così deciso, in confronto delle altre rocce, che lo si considerò come loro caratteristica?

846. Cominciando dal primo fatto, confesso che mi parve lungo tempo assai problematico. Le trachiti, i porfidi, i graniti, i grès, mi hanno offerto de' colonnati stupendi, che per la loro bellezza e regolarità non avevano nulla da invidiare ai communi basalti. Osservava però tra i diversi gruppi una marcata differenza, che si può tradurre nella seguente proposizione. — I gruppi basaltici presentano, come ordinaria caratteristica, un numero di facce maggiore di 4, con predominio del 6. Delle altre rocce invece, graniti, porfidi, trachiti, rocce sedimentari, è quasi invariabile caratteristica il prisma quadrilaterale.

847. Le due rupi già citate, il Werregotsch basaltico, e lo Schreckenstein trachitico, offrono, l'uno rimpetto all'altro, sulle opposte sponde dell'Elba, due gruppi me-

Digitized by Google

ravigliosi di colonne poliedriche. Ma le colonne del Werregotsch sono esagonali o ettagonali come in genere i basalti: quelle invece dello Schreckenstein sono pilastri quadrilaterali, del diametro di 20 a 40 centimetri, offrenti talora un pavimento regolarissimo a scacchi. La differenza che si nota tra quei due dicchi, si rimarca pure in genere tra i gruppi basaltici e i gruppi trachitici di quel distretto, come la si rimarca tra i basalti e le trachiti del Vicentino e dei Colli Euganei, a giudicarne dai disegni del Breislak. La forma prismatica quadrilaterale è pur quella dei porfidi. I porfidi quarziferi del lago di Lugano si clivano per lo più in grossi prismi, o meglio in tavole prismatiche regolari, simulando una vera stratificazione. Ma formano talvolta veri colonnati di prismi quadrati, sottili, lunghi; emuli, per regolarità, del mi-

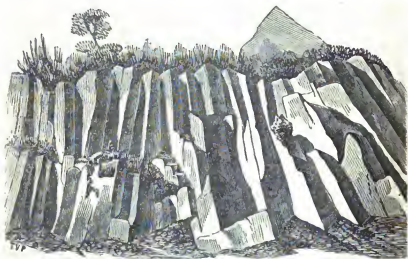



Fig. 35. — Colonnato di porfido presso Brusino sul lago di Lugano.

gliori colonnati basaltici, come lo attesta la figura 35, disegnata in posto dal mio amico Sordelli. La stessa forma presentano i porfidi di Angera. È fatto volgare del resto che il prisma quadrato, più o meno regolare, è la forma dei graniti, dei grès, e di quasi tutte le rocce isolate dal clivaggio. Solo si osserva che i prismi di dette rocce, d'ordinario assai grossolani, o divisi da giunture normali al loro asse, prendono una forma prossima al cubo, o quella di tavole simulanti la stratificazione. Ma di ciò più tardi. Il fatto intanto è questo, che il prisma che conta più di 4 facce è la forma ordinaria delle colonne basaltiche; mentre per le altre rocce lo è il prisma a 4 facce.

848. Io credo che tutto il segreto di ciò che riguarda la forma speciale, che può assumere una roccia, nel dividersi in pezzi isolati, quando si screpola, stia in ciò che la direzione delle screpolature, prodotte da una forza meccanica qualunque, è determinata dalla struttura speciale del solido stesso. La linea della spezzatura sarà sempre quella della minor resistenza. Ciò posto, richiamo un fatto che fu già da noi posto in tutta la sua luce. Nelle rocce eruttive a cristallizzazione eviden-

te, principalmente nelle rocce porfiroidi, i cristalli sono allineati approssimativamente nella stessa direzione, e disposti quasi su tanti piani paralleli. Il fatto fu ampiamente dimostrato tanto per le lave moderne (*Parte prima*, § 829) quanto per le rocce eruttive antiche (§ 232). Richiamo specialmente quanto ho narrato minutamente de' tagliapietre lombardi, i quali sanno dividere così facilmente il granito in prismi quadrati, e in tavole prismatiche, secondando i piani paralleli, sopra i quali sono disposti i cristalli di feldspato. L'arte degli scalpellini lombardi è pur nota, secondo Zirkel, agli Inglesi, che chiamano *the grain* ovvero *the bate* il filo, ossia il piano di sfaldatura, determinato dal parallelismo de'cristalli (*Lehrb.* I, p. 107). Charpentier notò come i cristalli del granito di Greifenstein siano paralleli ai piani de' parallelepipedi, in cui esso granito si cliva, e lo stesso fenomeno fu osservato da Pötzsch nel granito di Putzkau (*Ib.*, pag. 108). La natura ha già da lungo tempo messo in pratica il processo dei tagliapietre, clivando i graniti, e le rocce, ove si verifica il parallelismo de'cristalli, in prismi quadrati, e in tavole prismatiche. Dovendo nelle spezzature seguire le linee, o meglio i piani di minor resistenza, trovò che questi erano i piani paralleli alla direzione dei cristalli. Ora non fa bisogno di una dimostrazione, per rendere evidente, come, volendo isolare un pezzo di granito, o di roccia di struttura somigliante, di trachite, di porfido, i piani di minor resistenza saranno, dopo i piani paralleli alla direzione dei cristalli, i piani normali a questi, e come perciò il pezzo isolato, dovrà presentare la forma di un prisma quadrilaterale.

849. Quanto ai grès, e alle rocce stratificate, osserveremo che, trattandosi di dividerli in pezzi isolati, i piani degli strati sono già per sè piani naturalissimi di clivaggio, e come per tanto due facce del poliedro siano già, per così esprimermi, obbligate. Date codeste due prime facce parallele, la natura opererà le ulteriori fratture, seguendo i piani di minor resistenza, che, come i più brevi, sono i piani normali ai piani degli strati. Così i grès e le altre rocce sedimentari si divideranno anch'essi in prismi quadrilaterali, e in tavole prismatiche.

850. I basalti, in confronto colle altre rocce cristalline, figurano, in genere, come le più omogenee. Composti di cristalli assai fini, uguali, suscettivi di un liscio perfetto, che ne rivela, coll'uniformità della tinta, la finezza dell'impasto, non presentano nessuno di quegli accidenti di struttura, che possono decidere le crepature piuttosto in un senso che nell'altro. L'azione esercitata dai centri di raffreddamento, o di contrazione (§. 829) non è elisa nè deviata, e le facce dei prismi saranno tante quanti sono detti centri che si determinano all'ingiro di ciascuno di essi. Ecco come sui prismi basaltici noi contiamo da 3 fino a 9 facce. Nè è meraviglia che in un dato gruppo una forma prevalga (principalmente l'esagono, secondo le idee di Scrope), poichè, a tutte condizioni approssimativamente uguali, l'azione delle cause, che agiscono uniformemente, si deve tradurre nella uniformità approssimativa degli effetti. I piani di fina belletta che si screpolano al sole, offrono quanto di meglio risponde, per la tessitura, a quegli stagni di basalte che ci possiamo immaginare screpolantisi, per lento raffreddamento, sotto un ammasso di scorie coibenti. Di quelle pozzanghere ne osservai a centinaia lungo la ferrovia dell'Italia meridionale, ed ebbi a notare come i prismi di considerevole spessore, in cui si dividevano quei fanghi, affettassero tutte le forme basaltiche, il pentagono, l'esagono, ecc. Basta del resto osservare le screpolature delle cattive terraglie, per vedervi, come già dissi, riprodotti tutti gli accidenti del clivaggio de' basalti.

851. La risposta al 2.º quesito (§. 835) è ancora più facile. Quando si domanda: perchè i basalti presentano più deciso, o dirò più vago a vedersi, il clivaggio polie-

drico, si fa già una semplice questione di più o di meno, di quantità, non di natura. I basalti stessi offrono, per rapporto alla bellezza, e alla regolarità de' prismi, tutte le possibili gradazioni. Fra le forme spiccate, esili, regolarissime, che si ammirano al *Jardin des plantes*, ne' musei di Berlino, di Bonn, ecc. e i prismi irregolari e tozzi del Vicentino: e tra questi o le masse basaltiche, ove i prismi non sono che debolmente accusati da irregolari giunture, e dove il clivaggio basaltico affatto scompare, esistono tutte le possibili transizioni. Sono quelle stesse transizioni che legano le meravigliose colonne di Fingal ai prismi grossolani, enormi dei graniti di Cornovaglia, del Danubio, e alle rocce massiccie ove il clivaggio poliedrico è appena accennato, o irregolarissimo. Che se volessimo stabilire il confronto tra i gruppi, che direbbonsi di scelta, abbiam già detto più volte che certi colonnati di rocce diverse non hanno nulla da invidiare ai basalti. La forma colonnare è quasi l'ordinaria, dice Naumann, delle rocce pirosseniche, dette Grünstein, dei porfiri diabasici, delle afaniti ecc. Così si presentano in Sassonia, nel Nassau, nel Connecticut (*Lehrb.* II, pag. 410). La forma colonnare è pure assunta spesso dai graniti, dalle sieniti, dalle trachiti, dalle retiniti, dalle lave moderne. Carne descrisse le bellissime colonne granitiche del Capo Landsend in Cornovaglia. I graniti della provincia di Costantina, in Algeria, sono così regolarmente colonnari, che il capitano Berard li prese da lontano per basalti. Macculloch descrisse i magnifici colonnati di sienite dell'isola Ailsa, sulle coste della Scozia: le colonne misuravano fin 400 piedi di altezza, e 6 di grossezza (*Ibidem* pag. 481). Dei porfidi di Lugano dissi già (§. 837). Il loro clivaggio è così perfetto, che una colonna esagonale, lunga m. 1,50 e del diametro di m. 0,15 meritò di essere trasportata nel Museo di Innspruck.

852. Le ragioni principali della maggiore o minore regolarità dei prismi basaltici sono due, qualunque ne sia la forma e la sostanza:

1.° A condizioni pari, la divisione in prismi di una massa che si contrae è tanto più decisa e regolare, quanto la contraziono è più lenta;

2.° A condizioni pari, la regolarità è tanto maggiore, quanto la massa è più omogenea.

853. Quanto alla prima condizione, è un fatto volgare che le masse, le quali si raffreddano o si prosciugano rapidamente, sono soggette a screpolarsi, a fendersi in pezzi grossolani, irregolarissimi. Le superficie delle correnti di lava, colle loro congerie di massi dovuti alla subitanea contrazione, od i pinni fangosi che si fendono in zolle informi, in una giornata di vento, ne sono una prova. Basta del resto osservare i gruppi basaltici, per convincerci che i regolari colonnati non si determinano se non là, ove si avveravano le condizioni di un lento raffreddamento.

Abbiamo già fatto rimarcare come i grandi dicchi basaltici si mostrano divisi in tre strati, uno medio, gli altri laterali. Lo strato medio soltanto presenta la forma decisa, perfetta, di un colonnato basaltico; ma a un certo punto, da ambo i lati, la struttura basaltica perde ogni sua beltà; i prismi divengono indecisi, grossolani oltremodo, quando pure affatto non scompajano. Tipico per questo modo di presentarsi è il dicco del Grosserweilberg già descritto (§. 827). I grandi espandimenti, cioè le grandi correnti, presentano invece due strati sovrapposti. L'inferiore è costituito dal colonnato che così sovente ci colpisce colla sua regolarità. Il superiore è spesso diviso, cioè consta di uno stato di prismi grossolani, irregolari, che ricopre e quasi continua il colonnato, ed è coperto da uno strato massiccio.

Le parti medie del dicco, come le più profonde dell'espandimento, sono al certo quelle che si raffreddarono più lentamente; mentre più rapido, e in parte immediato,

Digitized by Google

dovette essere il raffreddamento delle parti laterali nel primo, e delle parti superiori nel secondo. Ciò dice chiaro che alla lentezza o alla rapidità del raffreddamento si debbono la regolarità o la irregolarità de' prismi.

854. Non v'ha quasi, letteralmente parlando, colonnato basaltico, che non sostenga un tetto di basalte, d'identica natura, o rozzamente prismatico, o assolutamente massiccio. Non sempre tra il basalto colonnare e il massiccio si osserva distintamente uno strato di basalte imperfetto, ossia rozzamente prismatico. Talvolta, come osserva lo Scrope (*Les volcans*, pag. 99), il contrasto tra la parte superiore amorfa, o la parte inferiore prismatica, è così deciso, che alcuni geologi furono condotti a supporre due correnti immediatamente sovrapposte. Un esempio di questo genere è offerto da una parte dal colonnato di Portrush, nella contea di Antrim in Irlanda, disegnata da Scrope (*Les volcans*, pag. 100, fig. 30). Generalmente invece, a giudicarne dall'*Atlante* di Breislak, uno strato rozzamente prismatico si interpone tra il colonnato e il basalto amorfo. Il fatto pare indubbiamente espresso dai disegni della rupe di Maillas, nel Vivarais (Pl. 13), del gruppo basaltico della Benume, pure del Vivarais (Pl. 17), e meglio di tutto dal gruppo di Terento, nel territorio di Viterbo (Pl. 44) dove i tre strati sono, come non si può meglio, distinti.

Ma l'esempio più parlante in favore dell'idea che dal lento raffreddamento dipende la regolarità dei colonnati basaltici, ci è offerto dal cono craterico detto *Montagne de la Coupe* nel Vivarais, il cui disegno, tratto dall'opera di M. De Faujas sui vulcani spenti del Vivarais, forma la tav. 2 dell'*Atlante* di Breislak. Quella montagna forma un cono regolarissimo, con regolarissimo cratere ad imbuto, vasto e profondo. Si assomiglia moltissimo al Vesuvio. Dal labbro di quel cratere, quasi traboccasse or ora, si riversa una corrente di lava, che con larga striscia, uguale, serpeggiante, si volge verso il piano sottoposto. È un vero basalte nero, divenuto, a volta a volta, poroso alla superficie. Ma prima di giungere al piano, quel basalte, d'amorfo che era, comincia a presentare forme prismatiche, che disegnano alla superficie, come dice Breislak, una specie di *opus reticulatum*, e giunto al piano si dilata sopra vasta superficie, e presenta un superbo colonnato (Breislak, *Istit. géol.*, vol. II, pag. 478).

855. La seconda proposizione, essere cioè la bellezza e la regolarità dei poliedri in ragione diretta della omogeneità della massa, lo provano appunto i basalti, compatti, duri, finamente granulati, omogenei, in confronto colle trachiti, coi porfidi, coi graniti, principalmente colle varietà più porfiroidi. Lo prova anche il confronto dei basalti stessi fra loro. Scrope osserva infatti, parlando delle colonne di basalte, che in certi casi, se la grana della lava è grossolana, i prismi sono di un volume enorme misurando sino a 6 o 8 piedi di diametro (*Les volcans*, pag. 102). Volgarissimo del resto è il fatto: finamente reticolato si mostrano le screpolature di una fina vernice; largamente quelle di un intonaco: le maglie incondite e larghe di un piano fangoso inaridito dal sole, non han nulla a che fare colla finissima rete, che l'aridità disegna sopra uno spazio inverniciato di fina belletta.

856. Fin qui abbiamo cercato di render conto di una parte sola del fenomeno, cioè della divisione in prismi, normalmente alle superficie di raffreddamento o di prosciugamento, senza cercare ragione dell'altra parte, cioè della divisione, che si determina parallelamente a dette superficie. Talora le colonne basaltiche risultano tutte d'un pezzo, senza giunture, cioè senza rotture transversali: talora invece si osservano delle giunture a larghi intervalli: talora finalmente le giunture si ripetono a così brevi intervalli, e con tanta regolarità, che le colonne furono dette benissimo articolate, imitando in grande i fusti articolati dei crinoidi, o, con maggior verità, quei colonnati

Digitized by Google

gotici, a fasci arditi e smilzi, costrutti di prismi uguali, sovrapposti. Esistono, dico lo Scrope, colonne basaltiche, lunghe 100 e fra 150 piedi, da cui si separano pezzi di 50 piedi, tutto d'un getto. La rupe piramidale di Murat ne fornì di stupende al Museo di Parigi. Le colonne invece dell'Isola di Staffa, di Antrim, ecc., si dividono talora in articoli, ossia in prismi, della lunghezza di 29 o 30 centimetri ciascuno (Breislak, *Atl.* pl. 3, 4, 5, 6, 8).

857. Anzitutto non bisogna, anche qui, lasciarsi illudere da quella regolarità che presentano i saggi da Museo, ne' quali d'ordinario si vede piuttosto l'eccezione che la regola. Le giunture trasversali sono fenomeno così volgare e vario che le giunture longitudinali. I basalti, come le rocce a facile clivaggio, si dividono facilmente in certi prismi, cioè presentano due sistemi di clivaggio, il longitudinale che determina, e il trasversale che tronca il prisma. La struttura subcubica di certi graniti, di certi porfidi, ecc. presenta un caso in cui a mala pena si saprebbe distinguere un clivaggio parallelo da un clivaggio trasversale all'asse del prisma. Ciò mi fa pensare che le giunture dei basalti, non sieno anch'esse che un puro fenomeno di contrazione. Una massa contrattile, quando sia libera di agire, si contrae in tutti i sensi. La forza sviluppata da un centro di contrazione, che abbiamo considerato semplicemente come se agisse orizzontalmente, determinando un certo numero di facce laterali, è una forza irradiante che agisce quindi anche longitudinalmente, sollecitando una divisione della massa contrattile, in un senso più o meno normale alle divisioni longitudinali.

858. Noi vediamo come facilmente le masse screpolantisi, non solo si dividono in poliedri al modo sopra descritto, ma anche si squamino, staccandosi strato da strato. Ognun sa come le vernici, le argille, i fanghi, gli schisti d'ogni genere, esposti a cambiare di temperatura, a disuguali dilatazioni, si fendono, si squamano. Nulla di più ordinario che il vedere come, sulla superficie di una massa fangosa, pastosa, glutinosa, esposta a disseccarsi, si forma una crosta che si divide in prismi, e si separa in squame, che curvandosi, in forma di cocci e di scodelline, si vanno staccando dalla massa, che si ricopre di una seconda crosta. Anzi un tale volgarissimo fenomeno mi conduce a trattare di una singolarità, presentata talora dalle giunture dei basalti, spiegata la quale, si troverà più facile il dimostrare l'identità che lega le giunture basaltiche al clivaggio ordinario di ogni qualunque roccia eruttiva o sedimentare. Vo' parlare dei basalti ad articoli concavo-convessi, dove cioè il piano di giuntura è sostituito da una superficie curva, o concava, o convessa, secondo la rispettiva posizione.

859. Noterò dapprima che tale forma di giuntura è rarissima. Le giunture non offrono d'ordinario che dei piani di frattura più o meno irregolari. Bisogna tuttavia confessare che l'articolazione concavo-convessa è caratteristica di certi gruppi, fra i quali figura, come il più tipico, il celebre *Pavimento de' giganti*, nella Contea d'Antrim in Irlanda (l. 3 o 4 dell'*Atlante* di Breislak). Ognuno conosce le esperienze più communi sulla dilatabilità di solidi riuniti. Uno dei fenomeni più noti è quello, che si verifica per una lamina composta di due, ciascuna di metallo diverso, o diversamente dilatabile. Sappiamo che una lamina diritta, così composta, si curva al primo mutarsi della temperatura, dilatandosi o contraendosi un metallo più, l'altro meno. Osservando quali sieno i rapporti tra le curve e la posizione dei metalli, si vedrà come, per troppo ovvia ragione, la convessità corrisponde al metallo più dilatabile, la concavità al meno. Su questo principio sono stabiliti il termometro metallico di Broguet, o altri strumenti fisici. Il fenomeno ha luogo ugualmente in base alle stesse leggi, e

Digitized by Google

in circostanze opportune, per una lamina sola, per un solido qualunque, a due superficie parallele il quale, benchè composto della stessa materia, si dilati o si contragga disugualmente sulle due superficie parallele, come nel caso che una delle due superficie o si raffreddi, o si riscaldi, o si gonfi, o si prosciughi, più prontamente dell'altra. Siamo sempre ai fenomeni più volgari. Per curvare una tavola di legno, la si espone al fuoco: un alito basta perchè si curvi e si accartocci un foglio di taffetà.

860. Suppongo ora un ristagno di liquido basalte, quale fu in origine il colonnato di Antrim, che va raffreddandosi dalla superficie al fondo. Una rete di screpolature ha già divisa la superficie frigescente in un numero infinito di poligoni, di cui ciascuno è la testata di un prisma, di una colonna, che si andrà prolungando indefinitamente, mano mano che il processo della solidificazione guadagna dalla superficie al fondo. Or bene, quel prisma, o parte di prisma, che è già isolato lateralmente, tende, per effetto sempre della contrazione, ad isolarsi anche alla base, tende a staccarsi, come si stacca una falda di vernice o d'argilla. Qui è dove, io penso, si sviluppa quella forza, che deve dare, in circostanze favorevoli, una superficie concavo-convessa agli articoli delle colonne basaltiche. Un articolo di basalte non è infine che una grossa lamina, una tavola, soggetta a disuguale raffreddamento. La superficie superiore, rivolta all'atmosfera, si raffredda prima dell'inferiore: quindi la tendenza a curvarsi; quindi lo sviluppo di una forza, che tende a staccare una parte dal tutto, a staccare una squama, la quale risulterà concava dalla parte superiore, ossia dalla parte del più pronto reffreddamento, e convessa dalla parte opposta. Se in luogo di prismi, ossia di tavole basaltiche, io parlassi di lamine metalliche, o di tavolette di legno, che si stacchino da un pavimento, o da una impiallacciatura a mosaico, ognuno mi accorderebbe ciò che ognuno avrà visto le cento volte in effetto. Ma in questo caso, direbbesi, la morbidezza, l'elasticità del metallo, del legno, ed altri tali circostanze favoriscono il giuoco. Che ci hanno a che fare, nel caso, i prismi basaltici? Perciò appunto ho detto sopra, che il fenomeno si verificherebbe in *favorevoli circostanze*, e voleva dire, quando la regolarità del processo, l'elasticità, l'omogeneità della massa ed altre favorevoli condizioni, si verificassero. Poichè se il verificarsi dell'incurvamento dipende da omogeneità, da elasticità, da condizioni di forma di struttura; la questione sarà di più e di meno. Il fango non è certo nè il corpo più omogeneo, nè più coerente, nè elastico. Non v'ha nulla anzi che possa meglio citarsi come in opposizione a ciò che è di natura metallica. Eppure (trattasi ancora di un fenomeno volgarissimo) quando incontriate un suolo profondamente fangoso potrete facilmente verificare, come i poligoni, che si squamano dalla superficie disseccata, presentino la forma concavo-convessa, e come, staccando un poligono d'un certo spessore, esso si suddivida in tanti strati sempre del pari concavo-convessi. Quale essenziale differenza tra questi poligoni, e i più perfetti articoli delle colonne basaltiche?

861. Se la causa della forma concavo-convessa delle giunture sta nella contrazione, combinata col disuguale raffreddamento; la superficie concava, come quella che prima si contrasse, dovrà essere rivolta verso la superficie di raffreddamento: viceversa l'altra. Trattandosi di espandimenti, ossia di correnti, la superficie concava sarà la superiore, convessa l'inferiore. Il fatto risponde appuntino. Zirkel e Scrope attestano infatti che la concavità si verifica alla estremità superiore d'ogni articolo: viceversa la convessità. Lo stesso fatto fu proclamato dal signor Pasini alla riunione della Società Italiana di scienze naturali, nel 1868 a Vicenza, dove io esposi le teoriche che danno materia al presente capitolo; e il professor Guiscardi, annuendo, citò come una singolare eccezione quella di una lava vesuviana, ove il rapporto delle

due curve era invertito. Nè mi fa meraviglia che, sopra una correute, forse coperta di uno strato poderoso di scorie e di lapilli coibenti, il suolo, a preferenza, avesse agito come superficie refrigerante.

862. Visto come le giunture concavo-convesse non sono che una eccezionale modalità delle giunture basaltiche; vorremmo dimostrare come queste poi non siano in genere che una modalità delle giunture, ossia dei piani trasversali di clivaggio, che si verificano in tutte le rocce facilmente clivabili..

Osservaudo tali giunture nei basalti, esse presentano casi diversi, meritevoli di attenzione.

Iu primo luogo le giunture si verificano, nei diversi casi, a intervalli disugualissimi. Talora abbiamo colonne basaltiche d'un sol getto, che percorrono una lunghezza di 50 piedi senza giuuture; talora invece le colonne sono articolate ad iutervalli di pochi centimetri.

In secondo luogo troviamo che le giunture, in certi casi, sono proprie delle singole colonne, mentre, in altri casi, passano da una colonna all'altra. Con diverse parole, abbiamo in certi casi delle *colonne articolate*: in certi altri casi dei *colonnati stratificati*. Secondo che le giunture si succedono a piccola o a grande distanza, avremo o una colonua ad articoli corti o lunghi, ovvero un colonnato a strati sottili o grossi.

863. La distinzione tra *colonne articolate* e *colonnati stratificati* è tutt' altro che superflua. Questa distinzione ci dice chiaramente come le giunture trasversali e le longitudinali non sono fra loro in necessarî rapporto di contemporaneità. Certamente se una giuntura si limita ad una sola colonna, quella colonna doveva essere formata prima che quella giuntura si determinasse: vale a dire, le giunture longitudinali hanno prevenute le trasversali.

Se invece le giunture trasversali affettano il colonnato, passaudo da colonna a colonna, è probabile che esse giunture abbiano prevenute le longitudinali. Più spesso però si direbbe che e l'uno o l'altro genere di giunture siano dipendenti da un solo processo di azione contemporanea, dalla stessa forza di contrazione, che tende a separare la massa in tanti frammenti prismatici. Tale processo agisce in tutto e per tutto irregolarmente, per cui talora prevalgono le giunture longitudinali, talora le transversali; se quelle prevalgono, prevale la forma colonnare; se queste, prevale la stratificazione. I basalti prismatici della Piana nel Vicentino, delineati nell'*Atlante* di Breislak (pl. 35) si direbbero un dimezzo, dovuto all'equilibrio delle due forze di contrazione. I prismi colonnari sono benissimo accusati, mentre la massa sembra egregiamente stratificata.

Talora le giunture trasversali prevalgono talmente, e si succedono a così brevi intervalli, che le masse basaltiche si possono dire veramente stratificate. A Ratteustein, presso Bittersdorf, le lamine di basalte sono così sottili, che si sostituiscono alle lamiere di ferro (Zirkel, *Lehrb.* I, pag. 100).

864. I caratteri diversi, e tutte le accidentalità delle giunture basaltiche, servono, ora a porre in chiaro come, anche per questo lato, i basalti non differiscono punto dalle altre rocce eruttive o sedimentari; essendo la divisione in poliedri fenomeno dipendente dalla contrazione, a cui tutte le rocce vanno egualmente, benchè in diverso grado, soggette. Il fatto stesso, che tutte le rocce, si può dire senza eccezione, si dividono in poliedri, dice che in tutte si verificano due sistemi di spezzature, l'uno approssimativamente normale all'altro; che in tutte cioè si può distinguere un sistema di fratture longitudinali da un sistema di fratture trasversali. Se le prime prevalgono, la massa assumerà a preferenza la forma colonnare, di cui abbiam veduto presentare

Digitized by Google

esempi quasi tutte le rocce. Se prevalgono le seconde (e parlasi ora dei soli terreni eruttivi) la massa offrirà a preferenza la forma de' terreni stratificati.

865. Come pertanto tutte le rocce eruttive ci offrirono bellissimi colonnati, così esse ci presentano gruppi stratificati, al pari e meglio dei basalti. Si parlò assai della stratificazione dei graniti: si distinsero graniti massicci e graniti stratificati: anzi io udii un valoroso geologo affermare che tutti i graniti sono stratificati; e questi, in certo senso, aveva ragione, perchè il clivaggio tabulare è quasi caratteristico dei graniti. Dividendosi in cubi, o in tavole talora regolarissime, sembrano davvero formati di strati sottili, o grossi, o di banchi enormi sovrapposti. Ognuno ricorda i graniti stratificati di Cornovaglia, disegnati da La Bèche e da altri, ai quali nulla hanno, per mio avviso, da invidiare ai graniti dell'Engadina, del Brenner, del Danubio tra Linz e Vienna. Anche i porfidi simulano sovente una vera stratificazione: bell'esempio ne porgono, oltre i porfidi del lago di Lugano, quelli di Leissnig o Colditz, in Sassonia, e di Dornreichenbach, sulla ferrovia da Dresda a Lipsia (Naumann, *Lehrb. I*, p. 479). Il fenomeno si ripete col Grünstein, coi serpentini, colle sieniti, colle trachiti, ecc. La simulata stratificazione giunge, anche per alcuna delle nominate rocce, a tal punto, da presentarle come rocce ardesiache. Come ardesie si impiegano difatti le trachiti, e in lamine sottilissime dividonsi talora i porfidi, i graniti, i serpentini (Zirkel, *Lehrb.* I, pag. 100).

866. Il fatto che anche le rocce sedimentari dividonsi ordinariamente in poliedri, accusa già un doppio sistema di giunture, l'uno di giunture longitudinali, normali alle prime. Il fenomeno spicca singolarmente nei grès, i quali si presentano così sovente divisi in prismi regolari, allungati. Bellissimo è l'esempio dei *Natural steps* (gradini naturali), che si incontrano presso il monte Pinnacolo, sul fiume Arkansas. Ne diamo la figura, presa dall'opera di D. Owen (*Géol. Reconn. of Arkansas*, Philadelphia, 1860).

Fig. 37. — *Natural steps* sul fiume Arkansas.

Digitized by Google

Trattasi di una rupe pittoresca, alta 40 piedi sul pelo del fiume, costituita da due banchi di arenaria (*Millstone grit*), quasi verticali, incassati negli schisti argillosi, da cui sono pure l'uno dall'altro divisi, con un intervallo di 20 piedi. La profonda erosione degli schisti permise ai due banchi di mostrarsi prominenti, a foggia di due verticali muraglie. Il disegno mostra benissimo come ciascun banco fu diviso da molti piani di frattura, normali al piano dello strato, sicchè presentano una falsa stratificazione, nel senso contrario alla vera. Si osserva poi come, per un sistema di fratture normali alle prime, i banchi si isolano in parallelepipedi, che, liberi di cadere, lasciano i due banchi, per dir così, sdentati, e a scaglioni, che lor danno l'aspetto di rozze scaliuate.

867. La forma poliedrica, assunta dalle rocce, basta a imprimere una speciale fisonomia ad una regione, e quasi a creare dei modi parziali di orografia. Poco note ai dilettanti di naturali bellezze, ma meritevoli d'esserlo assai, sono le pittoresche contrade della Svizzera Sassone, cioè di quella regione ove l' Elba si incassa tra verticali pareti, partendo da' confini della Boemia, per venire a Dresda. Quella regione si può geologicamente definire come una enorme piattaforma, a doppio gradino, di quella arenaria, cui i Tedeschi indicano col nome di *Quadersantstein* (arenaria cubica) appunto perchè dotata di un clivaggio ben deciso, sicchè dividesi tutta in masse cubiche, o in prismi regolari. Ciclopici muraglioni, rovine di torri e di castelli, giganteschi colonnati, sorgenti dagli alti piani, avanzi di diuturna erosione, labirinti di colonne o di fantastiche rupi, infine un complesso indescrivibile, in cui tuttavia il geologo non ravvisa che l' effetto del clivaggio poliedrico, combinato coll' erosione, di una massa potente e quasi uniforme. L'arrotondamento delle colonne, i giganteschi sferoidi in minacciose stazioni di equilibrio, ci palesano infatti quell'azione singolare, per cui dal *clivaggio poliedrico basaltico*, nasce il *clivaggio sferoidale concentrico.*

868. Il *clivaggio sferoidale concentrico*, è, come il poliedrico, assai caratteristico dei basalti. Sembra una contraddizione il dire l' uno e l' altro clivaggio caratteristici della stessa roccia: sta invece in questo, che è un fatto, la spiegazione di quella seconda forma di clivaggio, cui dissimo già dipendente dalla prima (§. 819) e che è ugualmente universale.

869. Tutti i geologi parlano della forma sferoidale dei basalti. Come si ammirano gli stupendi colonnati, così facilmente colpiscono quelle rupi basaltiche, che sembrano costituite da giganteschi mucchi di sferoidi, i quali attestano generalmente un processo di rapido sfacelo. Alla base di quelle rupi sovente si veggono accumulate le libere sfere basaltiche, simili a mucchi di palle da cannone, eretti al piede della muraglia di un forte. Generalmente però parlasi del clivaggio sferoidale come di un modo particolare, e originario, di struttura dei basalti, e delle rocce che ugualmente lo presentano. Per Zirkel sono la stessa cosa il clivaggio poliedrico e il clivaggio sferoidale; ma nel senso della già esposta teorica di Walt (§. 821). Se cioè gli sferoidi, che si formano nel basalte fuso, sono fitti, sicchè vengano, come si disse, a pigiarsi; ne nascono dei poliedri: se invece sono rari, hanno agio di sviluppare per. bene le loro forme, e sortono delle sfere. Ammette però anche lui (notate bene, per ciò che esporremo in seguito), che tale struttura non si rivela che per via della decomposizione (*Lehrb.* I, pag. 99). Per Naumann il clivaggio sferoidale indica senz'altro una *struttura tutta sua propria* della roccia, rivelata, anche per lui, dalla decomposizione (*Lehrb.* I, pag. 483). Il granito di Worcester, nel Massachusets, che presenta un bel sistema di banchi arrotondati, a strati concentrici, fu considerato da Hitchcock quasi una enorme concrezione: e L. Buch, osservando come, quasi ovunque, il granito si

presenta in tronchi elissoidali e quasi a grandi bolle, composte di strati concentrici, vi riconosce un modo primitivo di essere del granito, messo poi in evidenza dalla decomposizione. Queste autorità citate da Naumann (*Ib.* II, pag. 192), mostrano come si andò piuttosto indietro, che avanti, da quando Leibnitz, nella *Protogæa*, scriveva: *credibile est, contrahentem se refrigeratione crustam, bullas reliquisse, et in folia quædam discessisse.*

Soltanto dopo aver esposto il mio modo di vedere al congresso di Vicenza mi capitò sott'occhio un periodo di Bischof, dove si trova, per così dire in embrione, la teorica, che passerò ad esporre. Bischof rimarcò il fatto d'un moncone di colonna di basalte, irregolarmente pentagonale, il quale mostrava sulla superficie di spezzatura transversale, uno strato decomposto, parallelo ai lati del pentagono « di modo che il nocciolo interno, non ancora sensibilmente decomposto, presenta un pentagono interno, abbastanza simile all'esterno. Ma gli angoli dell'interno non sono così taglienti come quelli del pentagono esterno. Siccome in prossimità dell'angolo esterno le acque, penetrando da ambedue le rispettive facce, qui si incrociano; così, sotto la loro azione decompositrice, debbono risultare degli angoli arrotondati (*Lehrb.* III, pag. 425). »

870. Non trovando, salvo che nel periodo citato di Bischof, qualche cosa di razionale, io pensai meco stesso: come mai il basalte, poliodrico per eccellenza, è anche per eccellenza sferoidale, globulare? Perchè la stessa roccia deve, sempre in conseguenza della propria struttura, presentare due modi di clivaggio così differenti? Ma non solo i basalti; tutte le rocce presentano, più o meno decisi, i due modi di clivaggio; e nelle stesse rocce tanto è più deciso l'uno, quanto più marcato è l'altro. Il bello si è che i due clivaggi si manifestano sovente distintissimi; sicchè nello stesso gruppo basaltico, granitico, una porzione si fende in poliedri nettissimi, l'altra in sfere quasi perfette. Anzi talvolta lo stesso spicchio di basalte mostra associate le forme del prisma o della sfera, sicchè infine le due forme sembrano fondersi, unificarsi. Qui dunque c'è un legame, una dipendenza di effetto: ci devono essere adunque il legame, la dipendenza delle cause.

871. L'associazione delle due forme, anzi la dipendenza dello sferoide dal poliedro, non erano sfuggite all'occhio penetrante di Fortis, il quale così scriveva de' basalti vicentini a Faujas-Saint-Fond: « Vous y verrez des laves reduites à étât terreux, divisées verticalement en grands piliers, *qui sont eux mêmes subdivisés en autant de boules*, à couches concentriques, dont les noyaux conservent encore leur compacité primitive (*Mém. pour servir, etc., I*, pag. 4). » Anche Naumann indica benissimo il passaggio dalla forma poliedrica alla sferoidale, mediante un processo di sfaldamento (*Exfoliation*). Vi dice come le tavole orizzontali, prismatiche, assumano, sfaldandosi, la figura di materasse; come dai prismi, nascano colonne; dai cubi, sferoidi; dalle masse poliedriche irregolari, sferoidi più o meno regolari. Ma insiste pur sempre sull'attribuire il fenomeno alla primitiva struttura della roccia, ove crea dei centri, degli assi, intorno ai quali si condensa la parte più tenace, che forma un nocciolo, mentre la porzion più eccentrica più facilmente si decompone si sfalda (*Lehrb.* II, pag. 213). Nè bada, così parlando, al fatto che il clivaggio *sferoidale concentrico*, è, come il *poliedrico*, presentato non solo dalle rocce eruttive, ma anche dalle sedimentari.

872. Ad ogni modo, il fatto della trasformazione del poliedro in sferoide, è quello che ci deve scoprire la vera causa del clivaggio *sferoidale concentrico.* Fissiamo anche l'altro fatto, che tale trasformazione avviene invariabilmente per via della de-

composizione. Una massa di basalte, di granito, di qualunque roccia eruttiva, o sedimentare, che, senza offrire i caratteri della struttura concrezionare, senza presentare altrimenti nessun carattere di speciale struttura, per cui si distingua dalle rocce communi, omenimo, si cliva naturalmente in sferoidi, i quali si sfaldano in strati concentrici, questa massa, dico, è invariabilmente una massa in decomposizione. Possono citarsi esempî senza numero.

L'*Atlante* vulcanologico di Abich (tav. 10, fig. 1) presenta un dicco di lava, messo a nudo da uno scoscendimento del cratere dell'Etna, che offre, dice l'Abich, una singolare riunione delle due forme basaltiche, la sferoidale o la colonnare. Infatti alla base è composto di sferoidi a strati concentrici, come appare dal disegno; insensibilmente passa nella parte superiore alla forma prismatica. Quelle sferoidi sono, dice l'Abich, assai dure, e intimamente legate fra loro, il disegno tuttavia mostra alla base una specie di frana di sferoidi, segno evidente di sfacelo. I melafiri, dice Naumann, si fendono in prismi, e colonne, decomponendosi in sferoidi (*Lehrb.* II, pag. 726). I tufi basaltici di Salcedo sono zeppi di grossi frammenti angolosi di basalte, che presentano i poliedri più irregolari. Tuttavia, decomponendosi, lasciano un nucleo sferoidale.

873. Questi fatti mi suggerivano spontanea la domanda: se mai lo sferoide non fosse che il semplice risultato della decomposizione del poliedro? se quindi, dato che una roccia si clivi in poliedri, ciò bastasse, perchè i poliedri, decomponendosi, si convertissero in sferoidi? È questa appunto la tesi che io passo a dimostrare. *Dato un pezzo poliedrico qualunque, d'una roccia eruttiva, o sedimentare qualunque, questo, mediante la decomposizione, si trasforma in sferoide, di forma corrispondente al poliedro, da cui origina, con necessaria tendenza di esso sferoide a trasformarsi finalmente in sfera.*

874. La tendenza dell'azione atmosferica, considerata in tutti i suoi accidenti, ad ottundere i pezzi di rocce angolosi, quindi a convertire i poliedri in sferoidi, è fenomeno troppo volgare, di cui dicono abbastanza l'edilizia, e specialmente gli antichi monumenti, senza interrogare la libera natura. È fenomeno, del resto, che noi abbiamo già considerato, nei paragrafi consacrati all'erosione meteorica. Le *pile di formaggi*, le *pietre barcollanti* descritte da La Bêche, non sono che sferoidi isolati o sovrapposti, derivati dalla decomposizione dei prismi granitici in Cornovaglia, nell'Isola d'Elba, su Danubio, ecc. Dicevamo fin d'allora, come il clivaggio sia un possente ausiliare della degradazione (*Parte Prima*, §. 101). Ora si tratta di sapere, se questo, che direbbesi semplice fenomeno di ottundamento, abbia qualche cosa di commune, anzi una vera identità, con ciò che si chiama struttura, clivaggio sferoidale. Trattasi quindi di sapere, perchè un masso, che si decompone, si ottunda, sfaldandosi a strati concentrici. Trattasi di sapere, perchè il fenomeno si verifichi, non solo pei pezzi esposti alla libera atmosfera, ma anche per quelli che nol sono, anche per quelli che si trovano a considerevoli profondità, in guisa che la massa intera della roccia si sfasci in sferoidi. La massa basaltica dell'isola di Ponza, fra Terracina e Gaeta, si può paragonare ad una catasta di palle da cannone, a sfaldatura concentrica, del diametro di pochi millimetri a un metro, in pieno sfacelo (Lyell, *Manuel*, II, pag. 261). Or bene, dall'ottundamento dello spigolo della cornice di un antico monumento, allo svolgersi di una massa di basalte in sfere quasi perfette, composte di strati concentrici, non c'è che il progresso, la gradazione dello stesso fenomeno, che si compie più o meno perfettamente, secondo che le circostanze sono più o meno favorevoli.

Digitized by Google

875. Quale è l'effetto della decomposizione, qualunque sia l'agente che opera, la roccia che si decompone e la profondità in cui la decomposizione avviene? L'effetto immancabile è un aumento della massa che si decompone. Abbiamo veduto come Bischof su questo fatto fonda nientemeno che la sua *teoria delle oscillazioni del globo*, e ne abbiamo riportato una tabella comparativa, dalla quale si deduce, come una roccia, il basalte, le lave, decomponendosi, raddoppino quasi il loro volume (§. 368). Ora quella forza meccanica, sviluppata dalla decomposizione, a cui Bischof attribuisce il sollevamento de' continenti, vogliamo considerarla semplicemente come agente sopra un poliedro qualunque, durante il processo della decomposizione.

876. La fig. 38 è un quadrato, che rappresenta la sezione di un cubo. La dimostrazione che sto per dare del processo della decomposizione, vale per tutti i piani di sezione, che si possono immaginare condotti da una delle facce del cubo, alla opposta, passando pel centro di figura.

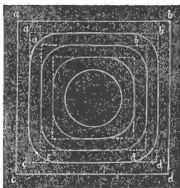



Fig. 38. — Teorica della trasformazione del poliedro in sferoide.

Suppongo che il cubo sia esposto all'azione meteorica, agente ugualmente su tutte le facce. Uno strato superficiale del quadrato $a\,b\,c\,d$ si decomporrà con aumento di volume, e guadagnerà, a poco a poco, uno spessore che supponiamo limitato dal quadrato inscritto $a^1\,b^1\,c^1\,d^1$. Ma per chi ben rifletta, non tutti i punti della massa che si decompone sono nelle stesse condizioni in rapporto all'agente che tende a decomporli, e diciamo per rapporto all'acqua filtrante, che si può considerare come unico agente universale della decomposizione. Il punto a^1, per esempio, corrispondente allo spigolo a, è assalito dall'agente decompositore, con pari energia, tanto pel lato $a\ b$, quanto pel lato a c. In corrispondenza con questo punto, l'azione decomponente dovrà essere doppiamente energica, e la decomposizione, per conseguenza, doppiamente profonda, per cui, in luogo di arrestarsi al punto a^1, si sprofonderà fino al punto a^2. Così dicasi dei punti $b^1\ c^1\ d^1$, che si trovano nelle identiche condizioni del punto a^1, e saranno sostituiti dai punti $b^2\ c^2\ d^2$. Quanto più i punti costituenti i limiti dello strato decomposto si allontanano dai punti $a^2\,b^2\,c^2\,d^2$, tanto più si sottraggono all'azione del lato rispettivamente opposto, e quindi si elevano verso il rispettivo lato del quadrato $a^1\ b^1\ c^1\ d^1$. Ne avviene che ai lati retti di esso quadrato saranno sostituiti i lati curvi $a^2\,b^2, b^2\,d^2, d^2\,c^2, c^2\,a^2$, e ne risulterà un quadrato arrotondato $a^2\,b^2, c^2\,d^2$.

Lo strato decomposto è dunque rappresentato dallo spazio compreso tra detto quadrato tondeggiante, e il primitivo quadrato *a b c d*.

877. Vediamo ora l'effetto dolla forza meccanica sviluppata dalla decomposizione dello strato descritto (§ 865). Questa forza, provocando una mutua reazione delle molecole fra loro, tenderà naturalmente a vincerne la coesione, e a disgregare la massa. È il fenomeno più volgare questo, che le rocce, decomponendosi, perdono assai della loro coesione: nè è semplicemente fenomeno meccanico, ma anche chimico. Se la coesione è interamente distrutta, le particelle si disgregheranno, mano mano che si decompongono. Ciò accade sovente; e noi vediamo certi grès, certi graniti, cadere in polvere, rimanendo un nucleo tondeggiante, il quale si avvicinerà sempre più alla forma sferica, per le ragioni che diremo. Ma se invece la coesione rimane sufficiente, lo strato decomposto realmente si forma, si arresta, acquista spessore, o include il nucleo tondeggiante, non decomposto. Ma esso strato, nel decomporsi, aumenta di volume, e forma quindi una specie di anuello quadrato, il quale, per mutuo contrasto delle molecole fra loro, tende ad allargarsi. Non può tuttavia allargarsi, se non a patto di staccarsi dal nucleo; e se ne staccherà realmente, appena acquistato uno spessore proporzionato, possa vincere la coesione, che lo fa aderire al nucleo, resa debolissima dalla decomposizione. Perciò, nella fig. 38, la linea perimetrica del quadrato tondeggiante a^2 b^2 c^2 d^2, segna non solo il limite della decomposizione, ma diventa una linea di clivaggio, una linea di discontinuità, un vacuo lineare, ove l'acqua, che continua a filtrare, si arresta e si accumula, ovo possono depositarsi dei minerali disciolti, finalmente una linea di partenza, per la decomposizione di un nuovo strato più interno.

878. Per l'istessa legge, per cui il quadrato *a b c d* diè origine al quadrato tondeggiante a^2 b^2 c^2 d^2, questo originerà un quadrato più interno più ancora tondeggiante, che si avvicina ancor più al circolo, da cui nascerà un quarto ancor più circolare, e così di seguito, finchè tutti i punti del perimetro della figura risultante si trovino nelle identiche condizioni, per rapporto all'esterno agente decompositore, fino a tanto, cioè, che il quadrato sia trasformato nel circolo. Applicando ora la dimostrazione a tutte le possibili sezioni del cubo, il cui piano passi per il centro, tagliando due facce opposte, applicando cioè al cubo, ciò che abbiamo dimostrato pel quadrato, esso cubo si trasformerà in una massa, composta di strati concentrici, disgiunti l'uno dall'altro, che cominciano esteriormente colla forma cubica, passano internamente alla sferoidale, e terminano colla sfera.

Nè si obbietti, che non tutte le sezioni del cubo sono uguali, poichè si può stabilire il principio, come corollario della fatta dimostrazione, che *un punto, quanto più dista dal centro, tanto è più soggetto ad essere decomposto*; come parrà evidente a chi rifletta, che noi abbiam preso di mira una sola sezione isolata, e quindi abbiamo considerato solo quattro facce, mentre il cubo ne ha sei, e che i punti, distribuiti sopra una sezione che congiunga due spigoli opposti, passando per il centro, e che comprenda per ciò i punti relativamente più distanti dal centro, sono anche assaliti da tre facce, in luogo di due; per cui la loro decomposizione è proporzionatamente più rapida.

879. Chi ha ben inteso come si decomponga il cubo, comprenderà di leggeri come si decomponga un poliedro qualunque, regolare od irregolare. Abbiamo stabilito già due principî (§. 873) Il primo, che *un poliedro si trasforma in sferoide, di forma corrispondente.* Infatti il cubo ci si è trasformato prima in cubo arrotondato, poi in sferoide cubica (mi si permettano certi termini che sanno di una geometria un po'

nuova, ma la cui intelligenza non esigerà, credo, sforzo da nessuno), quindi in sferoide. Per la stessa legge, un prisma regolare si trasformerà dapprima in prisma arrotondato; poi in elissoide prismatica, quindi in elissoide. Un poliedro qualunque si trasformerà in poliedro arrotondato, poi in sferoide poliedrica, quindi in sferoide. La fig. 39 spiega, senza bisogno di altra dimostrazione, coll'applicazione di quella data

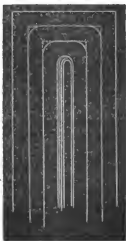



Fig. 39. — Trasformazione del prisma in elissoide.

pel cubo, la trasfomazione del prisma in elissoide. Operate ugualmente sui poliedri regolari o irregolari, e giungerete ai risultati già stabiliti.

L'altro principio stabilito, che *gli sferoidi, risultanti dai poliedri, hanno una necessaria tendenza ad assumere, come forma ultima per tutti, quella della sfera* (sempre inteso che la fine del processo non sia prevenuta dalla totale decomposizione del pezzo), è già per sè dimostrato, come corollario del principio, che *un punto quanto più dista dal centro, tanto è più soggetto ad essere decomposto* (§. 868). Il che vuol dire, in altre parole, che la decomposizione, esercitandosi più attiva sulle parti più distanti, e meno sulle più vicine, tende a eguagliare le distanze dal centro della superficie esterna del nucleo, non decomposto, cioè a ridurlo a sfera. Il principio si applica a qualunque poliedro, regolare o irregolare.

880. Per ogni dimostrazione sta poi la natura, la quale ci offre già di fatto eseguite tutte le operazioni, che si possono immaginare, sempre nel senso stabilito dalla teorica esposta. Parleremo anzitutto di un caso, che si direbbe un trovato della natura, per delineare punto per punto il suo processo, conservando al tempo stesso il pezzo istoriato, di cui è d'ordinario inevitabile la distruzione. Fra le pietre che i lapidarî italiani del secolo XVI, sceglievano, colle *paesine*, colle *pietre ruiniformi*, per incrostare i ricercatissimi mobili, si discerne talvolta un calcare marnoso, bianco-gialliccio, segnato di zone concentriche di giallo ocraceo. È affatto probabile che quella pietra derivasse dall'Appennino toscano e ligure: anzi il prof. Balsamo Crivelli mi disse di averne osservato nella Valle della Staffora (provincia di Pavia). Ad ogni modo se ne trovano grandi pezzi, segati e levigati, nel Museo di

Milano; e nel Museo di Pavia si conserva un largo tavolo, la cui copertura ne è esclusivamente formata. Esaminando quei pezzi appare evidente trattarsi di prismi regolari o di romboedri, isolati da naturale clivaggio, poi segati trasversalmente, e ridotti in tavole quadrate, o romboedriche. Le zone concentriche, che danno al pezzo levigato l'aspetto di onici giganteschi, sono delineate dall'ossido di ferro, da cui deriva a tutta la massa quella tinta gialliccia, ma che si accumulò, si concentrò, specialmente su quelle zone. Tenendo dietro all'andamento di esse, le si vedono descrivere ad intervalli differenti, un numero maggiore o minore di anelli concentrici, i quali si succedono, dall'esterno all'interno, con questa legge invariabile: il primo anello è un poligono inscritto, che mantiene il più esatto parallelismo coi lati della tavola, cioè col poliedro, qual fu determinato dal naturale clivaggio. Solo gli angoli sono già smussati, arrotondati. Il secondo anello, è un poligono, simile al precedente, ma ad angoli più arrotondati; l'arrotondamento cresce con regolare progressione nei successivi anelli, finchè la forma poligonale scompare, e vien sostituita da una figura circolare, che si approssima piuttosto al cerchio che all'elisse schiacciata, secondo che il pezzo rappresenta originariamente un quadrato piuttosto che un quadrilatero più o meno allungato.

La fig. 40 copia esattamente una tavola quadrilaterale di circa $0^m,28$, per $0^m,21$

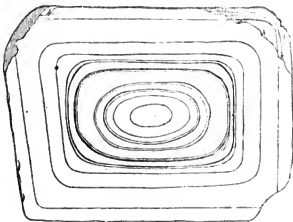



Fig. 40. — Pezzo dimostrativo del clivaggio sferoidale.

che si trova al Museo di Milano, ove il descritto processo si compiè con una regolarità veramente mirabile.

Qui è evidente che il processo della decomposizione, per l'infiltrazione dell'acqua dalle pareti dei poliedri determinati dal clivaggio poliedrico, ebbe luogo egualmente, e colle stesse leggi, come nei basalti globulari, nei graniti, nei grès. Ma il grado di essa decomposizione è così tenue, e la coesione ancora così forte, che non poterono gli strati sferoidali concentrici venir staccati l'uno dall'altro. Tuttavia il processo meccanico, se non produsse una rottura, cioè una linea di discontinuità, creò tuttavia una linea di tessuto più flacido, più poroso, per una specie di distensione della roccia sulle linee, dove si esercitava successivamente lo sforzo. Queste linee di tessuto più

lasso non sarebbero però altrimenti apparse, se l'acqua, pregna di ossido di ferro, non vi si fosse raccolta in maggior copia, quasi entro altrettanti strati più permeabili, lasciandovi quella tinta gialla, a documento irrecusabile della sua dimora.

881. Passando ad altri esempî, accennerò dapprima un caso che prova, non per struttura originaria, ma per semplice decomposizione e conseguente sviluppo di forza meccanica, avvenire la trasformazione dei poliedri in sferoidi. Il porfido di Tjimas-ilar a Giava, è descritto da Junghuhn come eminentemente sferoidale. Le sfere vantano un diametro di 7 a 15 piedi, e risultano di strati concentrici, sottilissimi e in piena decomposizione all'esterno, più grossi e più resistenti all'interno. Siccome i cristalli di quarzo, di cui abbonda quel porfido, sono più grossi degli strati in cui si divide lo sferoide, spesso anch'essi si mostrano divisi in diverse lâmine, corrispondenti ciascuna ad uno strato, e incassantisi l'una l'altra, come si incassano gli strati.

882. I seguenti esempî valgono principalmente a dimostrare come lo sferoide risultante sia in corrispondenza di forma col romboedro. L'elissoide si vede nascere invariabilmente dal prisma di corrispondente lunghezza, come invariabilmente dai poliedri, prossimi al cubo, nasce la sfera. Nöggerath descrive l'andesite dello Stenzelberg, divisa in colonne prismatiche, di forma basaltica, le quali, sfasciandosi, rivelano dei colossali cilindri, composti di strati concentrici, che si direbbero originariamente formare l'anima del prisma (Zirkel, *Lehrb.* I, pag. 104). Una corrente di leucitofiro, tra Montefiascone e Bagnorea, è divisa in colonne poligonali, esattamente come i basalti; ma il colonnato è infisso nel suolo, e sporgono soltanto le teste dei prismi. È bello il vedere come quei prismi sono arrotondati nella porzione sporgente, soggetta alla erosione, e imitino la forma dei paracarri a cupola di granito, di cui si adornarono in questi ultimi anni le nostre strade maestre.

Eschwege ci dà una bellissima descrizione riportata da Naumann (*Lehrb.* II, p. 193), delle sferoidi di granito, che si sfaldano a strati concentrici nel punto della costa del Brasile detto Praia-Grande. Trattasi di sferoidi oblunghe, di parecchi piedi di diametro. Ritte talora verticalmente sull'asse maggiore, si mostrano fesse al loro vertice, aprendosi a guisa di un bottone di rosa, svelando così la loro struttura a strati concentrici. Gli strati, ossia le foglie di quelle granitiche rose, sono numerosissimi, e appena talvolta dello spessore di una linea. Sorge nel mezzo, libero, e mobile, un nucleo oblungo. Questa descrizione può quasi letteralmente adattarsi alle sferoidi di basalte, che io stesso vidi scomporsi all'atmosfera sui Colli Berici. La similitudine della rosa è quanto si può dire opportuna a presentare alla fantasia quelle sferoidi, che si sfaldano a strati d'una esilità papiracea. Quegli esilissimi strati, trattenuti per dissotto dal peso dello sferoide interno, o liberi invece di rompersi al dissopra, ubbidendo alla forza che li dilata, si schiudono veramente come i petali di un fiore.

883. Per le stesse leggi gli strati apparenti, ossia le tavole prismatiche, si convertiranno in elissoidi schiacciate. Hoffmann descrisse i Grünstein di Weidesgrün, come divisi in sferoidi schiacciati, da 6 a 8 piedi di lunghezza, ancora accatastati regolarmente l'uno sull'altro, a guisa di ampî cuscini (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 410).

884. Per veder poi come da qualunque poliedro nasca uno sferoide poligonale corrispondente di forma, e come questo termini invariabilmente nella sfera più o meno regolare, portatevi sui Colli Berici. Là vedrete delle colline di basalte, il quale forma dei bellissimi pavimenti di poligoni di ogni forma, determinati dal clivaggio. Sono veri mosaici di pezzi angolosi d'ogni forma; ma hanno di commune lo sfaldarsi tutti in finissimi strati concentrici, i quali disegnano tutte le transizioni, ciascuno dal rispettivo poligono, al circolo, forma terminale per tutti. La fig. 41 offre uno schizzo

Digitized by Google

approssimativo di porzione di uno di quei pavimenti, delineato in luogo. I poligoni possono avere da 10 a 40 centimetri di diametro.

Fig. 41. — Pavimento basaltico sui Colli Berici.

885. Il lavoro della decomposizione sui gruppi poliedrici isolati è quello che, sempre in base alla teorica esposta, crea quei monumenti fantastici, che chiamarono l'attenzione dei primi geologi. Le già citate *pile di formaggio* della Cornovaglia non sono che pile di poliedri granitici, converse in pile di sferoidi. I graniti dell'isola d'Elba ne presentarono di bellissime a Pilla, e a me parecchie i graniti tra Linz e Vienna, lungo il Danubio. Ugualmente le colonne di basalto, articolate a guisa di

Fig. 42. — Gruppo di sferoidi trachitici, con base prismatica, soprà Viterbo.

fusti di crinoidi giganteschi, si trasformano in pilastri di sferoidi sovrapposti, imitando certe colonne del barocco. La Käsegrotte (Grotta de' formaggi) di Bertrich-

Baden, fra Treves e Coblenza, ne porge un bel saggio. Fantastici gruppi di sferoidi giganteschi mi offrì pure la trachite dei Colli Cimini sopra Viterbo, nascenti dai gruppi di enormi masse subcubiche, in cui quella trachite si cliva. La fig. 42 ne offre un esempio molto istruttivo.

886. Sono celebri, nei distretti granitici, i *mari di rupi*, i *labirinti di rupi* (Felsenmeere, Felsenlabyrinthe), sterminati accumulamenti di massi granitici, poliedrici, o arrotondati, giacenti alla rinfusa sopra vaste superficie. Si confusero coi massi erratici, si vollero bombe di vulcani granitici, si sognarono le più strane cose (Naumann, *Lehrb.*, II, pag. 212). Quei *mari*, quei *labirinti* non sono che il semplice risultato dello sfacelo in posto di masse granitiche, a clivaggio prismatico, e a conseguente clivaggio sferoidale. Esportandosi dalle acque pluviali le porzioni superficiali, mano mano che si polverizzano, giacciono isolati i nuclei, ossia gli sferoidi. Il fenomeno deve ripetersi ovunque esista alla superficie del suolo una roccia, che presenti in modo deciso il doppio clivaggio descritto. Osservate, per esempio, come i colonnati basaltici sono invariabilmente coperti da un tetto di basalte non colonnare. Il tetto rappresenta la porzione superficiale della corrente, che, raffreddandosi rapidamente, si divise in poliedri grossi e informi. Osservate come essi poliedri affettano, più o meno sviluppata, la forma sferoidale, sicchè i colonnati pajono coperti da una di quelle nubi, a cumuli, scolpite nel legno o nel marmo, con cui l'arte barocca tentò sì malamente di imitare la natura, facendone base ai simulacri religiosi. L'*Atlante* del Breislak ve ne offre esempi marcatissimi. È naturale che quegli sferoidi superficiali, una volta slegati per la progressiva decomposizione, creino un *mare di rupi*. Io osservai il fenomeno sviluppatissimo nei dintorni di Bolsena. I colonnati di leucitofiro basaltico, visti dal lago, appajono coperti da un tetto di informi sferoidi. Sugli altipiani poi, per esempio, venendo da Orvieto o da Acquapendente a Bolsena, si osservano assai spesso delle vaste aree, seminate, anzi coperte, di migliaja di grossi massi sferoidali. Non sapeva dapprima racapezzarmi, non vedendo da quali alture potessero essere rotolati, o tratti dalle acque. Osservando, potei più tardi convincermi che quei massi non segnano altro che superficie di masse di lava in decomposizione.

887. Nè si creda che, citando soltanto gli esempi offerti da rocce eruttive, volessimo escludere le sedimentari. I grès singolarmente, come quelli che offrono più deciso il clivaggio poliedrico, o meglio si prestano alla decomposizione, presentano quanto di bello, di deciso ammiriamo nelle rocce cristalline, per rapporto alla trasformazione dei poliedri in sferoidi. Basti per tutti il già citato esempio della Svizzera Sassone (§. 867) ove le maraviglie del Bielergrund, i pensili sferoidi, le colonne cilindriche, le *pile di formaggio*, danno all'intera regione un carattere così fantastico, emulando non solo, ma soverchiando d'assai quanto di meglio ci esibiscono i distretti a graniti e basalti. Del resto il fatto della trasformazione dei prismi in sferoidi a strati concentrici, fu osservato da Macculloch nelle arenarie dell'isola Egg; da Martini nei grès de' Carpazi; da Eschwege nel Rothliegende; a Correго da Extrema; da Keilhau nelle arenarie devoniane di Vadsöe; da Philippi nei grès carboniferi di Friedrichrode; da me nei grès del Keuper nel territorio di Lecco.

888. Terminerò questo lungo capitolo dichiarando che io non intesi di qui dar ragione della formazione di tutte gli sferoidi rocciosi. Come ho dato ragioni speciali degli sferoidi concrezionari, delle pisoliti, delle oöliti, degli amigdali, ecc., così potrei cercarle di quel qualunque sferoide, che non potesse spiegarsi colla trasformazione di un poliedro, per via di decomposizione. Noto del resto che le forme sferoidali finora a me note, le quali non si saprebbero spiegare colla teorica esposta, mi presentarono

anche dei caratteri affatto eccezionali, e sopratutto una speciale disposizione di elementi, da cui appare a prima vista non aver esse nulla di commune colle sferoidi, in cui si dividono le rocce più volgari, le quali non vantano nessuna specialità di struttura. Sono celebri, per esempio, gli sferoidi metalliferi delle cave di Campiglia, formate di augite radiante, a strati concentrici, con nucleo di blenda, galena, pirite cuprea e marziale. Sono disposti alle salbande dei dicchi porfirici (Rath, *Zeitschr. geol. Gesell*, 1864). G. Rose descrive un granito di Schwarzbach, nel Riesengebirge, composto di sfere di 3 a 6 pollici di diametro, contenenti al centro un cristallo di Ortose, il quale è circondato di albite e di mica, su cui si addatta una zona di grani grossolani di ortose e di quarzo. Quelle sfere, pigiate le une contro le altre, formano un *filone* dello spessore di 20 piedi (Naumann, *Lehrb.* II, pag. 193). Trattasi in questi casi (e credo sia la stessa cosa della *napoleonite* o diorite sferoidale di Corsica) di filoni, non di rocce propriamente dette. Trattasi di riempimenti prodotti, si può dir con certezza, per via di vapori acquei, ove gli elementi poterono disporsi secondo le leggi della cristallizzazione, e meglio secondo le leggi degli aggruppamenti cristallini, di cui dovrebbero una buona volta occuparsi i mineralogisti. I fenomeni, di cui cercavamo la spiegazione in questo capitolo, sono fenomeni volgarissimi, presentati, più o meno decisamente, da tutte quante le rocce; sono fenomeni che per la loro stessa universalità e semplicità, non possono confondersi con altri, nè generare equivoci. Tutte le le rocce in genere avendo subíto un raffreddamento o un prosciugamento, dovettero fendersi e isolarsi in poliedri. Divise in poliedri, dovettero, per effetto della decomposizione, sfaldarsi a strati concentrici, e i poliedri trasformarsi in sferoidi. È un caso di metamorfismo esterno, che affetta ora tutta la porzione superficiale del globo, e gli si deve quel clivaggio, che costituisce un carattere più o meno deciso di tutte le rocce, antiche e moderne.

Digitized by Google

XXI. Metamorfismo interno. Metamorfismo meccanico.

Sviluppo di forze conseguente dalla sovrapposizione dei terreni, 889. — *Metamorfismo meccanico e metamorfismo regionale*, 890. — *Compressione degli strati*, 891. — *La schistosità distinta dal clivaggio*, 892. — *Distinta dalla stratificazione*, 893. — *Schistosità originaria delle rocce eruttive*, 894. — *Diversa direzione della forza comprimente*, 895. — *Schistosità parallela agli strati*, 896. — *Schistosità obliqua o normale agli stessi*, 897. — *La schistosità è l'effetto della compressione*, 898. — *Prove dedotte dalla resistenza di certi strati*, 899. — *Dalla esperienza*, 900. — *Dalla relativa antichità delle rocce schistose*, 901. — *Dalla prevalenza nelle regioni tormentate*, 902. — *Dal parallelismo cogli assi delle curve*, 903. — *Dalla natura delle rocce*, 904. — *Dai lisci de' filoni e dei salti*, 905. — *Si insiste sulla plasticità delle rocce*, 906.

889. Veniamo ora alla seconda categoria dei fenomeni metamorfici, quelli che avvengono, quando la roccia, sottratta più o meno perfettamente all'azione immediata degli agenti esterni o superficiali, si trova in tutta balia delle forze endogene. Lo spessore delle formazioni geologiche stratificate, a strati concordanti, non ci lascia luogo a dubitare che molti strati, anzi potenti gruppi di strati, che formarono successivamente altrettante superficie terrestri, si trovarono in seguito portati ad enormi profondità sotterranee, dalle quali furono tratti di nuovo alla superficie, in virtù del sollevamento. Ritenuto che lo spessore degli strati sedimentari possa calcolarsi di 35 a 40 chilometri, ritenuto che non vi sia stata interruzione nella loro regolare sovrapposizione (il che si avvera almeno per gruppi dello spessore di 10 a 20 chilometri); il primo strato che si distese sul primo fondo marino, dovette discendere lentamente fino alla profondità di 35 a 40 chilometri, cioè fino a quella profondità dove, secondo la legge della progressione del calorico interno, si verificherebbe almeno una temperatura di 1000° a 1300°. Ma non è solo questione di temperatura, poichè con essa aumenta la pressione, la quale dev'essere veramente enorme per uno strato che è

schiacciato sotto una pila di 35 a 40 chilometri d'altri strati. Considerato poi come i diversi agenti tellurici, nominatamento l'acqua, fattore universale della vita del globo, si esercitano a tutte le profondità, o anzi in genere in ragione diretta della profondità; si conchiude che quel primo strato dovette andare soggetto, in ragione sempre crescente, alle forze meccaniche, chimiche, fisiche, le quali dovevano necessariamente, profondamente, radicalmente modificarlo. Quale sarà il risultato finale d'una serie indefinita di azioni, esercitate con una serie indefinita di gradazioni, sopra masse che presentano una serie indefinita di varietà? Ecco il quesito che tormenterà ancora per secoli la scienza, e a cui forse la scienza non troverà mai d'avere dato l'ultima risposta.

890. Vediamo tuttavia di formarci una prima idea di quel metamorfismo moltiforme che dove operarsi nell'interno del globo; e ci gioverà appunto l'aver distinto le principali forze, le quali si sviluppano nell'interno, o sono:

1.° La forza meccanica, ossia la pressione crescente colla profondità.

2.° La forza fisico-chimica, rappresentata specialmente dall'acqua, agente a temperatura e pressione sempre crescenti.

Tratteremo dunque dapprima del *metamorfismo meccanico*, indicando con questo nome tutti gli effetti prodotti sulle masse telluriche dalla compressione, modificata in mille modi dai movimenti oscillatori della crosta del globo. Tratteremo in secondo luogo del *metamorfismo regionale*, indicando con questo nome, già consacrato dall'uso, tutti quegli effetti, i quali si riferiscono, in genere o in quantità prevalente, all'azione dell'acqua. Siccome però l'acqua opera anche nelle regioni più superficiali, sopratutto filtrando attraverso i pori delle rocce, carica di sostanze disciolte, cui va a deporre nelle cavità delle rocce stesse senza modificarne essenzialmente la natura, così distingueremo un *metamorfismo d'infiltrazione* dal *metamorfismo regionale* propriamente detto, al quale riferiremo gli effetti più intensi prodotti in quantità prevalente, dall'azione dell'acqua riscaldata sotto forte pressione.

891. I sedimenti che si depongono in mare, specialmente i detritici, sono per loro natura porosi, soffici, incoerenti, suscettivi per ciò di diminuire considerevolmente di volume, anche sotto una pressione mediocre. Que' sedimenti, che si presentano ora come durissime rocce, erano in origine semplici impasti di fango, di sabbie, di ghiaje, imbevuti d'acqua in eccesso. Mano mano che nuovi strati si sovrapposero ai vecchi, questi, compressi, spremuti, dovettero diminuire di volume e consolidarsi, come avviene di un fango qualunque, per effetto d'una semplice compressione. I fossili ci danno una facile misura per valutare matematicamente la realtà e il valore dello schiacciamento. Gli ammoniti di considerevole spessore si trovano ridotti a dischi laminari, quasi a pellicole impresse negli strati. Le belemniti negli schisti liasici della Tarantasia, resistendo più che gli strati allo schiacciamento, si veggono ridotti a formare dei nodi allungati, sulla superfice degli strati. Gli strati stessi, che erano in origine argille o marne, sono conversi in schisto fine, lucente, molto somiglianti nell'aspetto a lamine metalliche fortemente stirate e compresse.

I fossili anch'essi mostransi, non solo compressi, ma sformati, e stirati in guisa, dice Scrope, da rendere palese come la roccia abbia acquistato il doppio d'estensione per semplice stiramento.

892. Ecco un primo modo di metamorfismo, d'origine tutto meccanica, il quale è tuttavia sufficente ad imprimere un marchio specialissimo a formazioni d'immensa vastità e potenza. Per me infatti la *schistosità* non è, in genere, che un effetto della compressione, esercitata sugli strati, normalmente od obliquamente al piano degli strati

Digitized by Google

medesimi. Bisogna distinguere anzi tutto in una roccia la *schistosità* dalla *stratificazione*, e dal *clivaggio*. La schistosità è veramente un modo di clivaggio; ma io vorrei si indicasse col nome di *clivaggio* la facoltà che hanno le rocce di dividersi in prismi od a sferoidi a strati concentrici per effetto, come abbiamo veduto, della contrazione e della decomposizione. La schistosità invece dipende dalla compressione; è l'effetto di una vera *laminatura*, di una *cilindratura* prodotta o immediatamente dalla pressione esercitata dalle masse sovrapposte, o anche dai movimenti oscillatorî del globo, che possono determinare una compressione in tutti i sensi possibili. È tanto vero che la stratificazione, il clivaggio, e la schistosità non sono da confondersi fra loro; che la stessa massa rocciosa può presentare tutti e tre i caratteri. Noi possiamo trovare, per esempio, uno schisto argilloso in grossi banchi, che presenti piani distintissimi di *stratificazione*. Ma ogni strato può sfaldarsi in diverse direzioni, presentando una vera *schistosità*; e può dividersi in pezzi prismatici, ed offrire un vero *clivaggio*. La schistosità si distingue dal clivaggio anche pel fatto, rimarcato da Sedgwick, che il pezzo, separato da un sistema di giunture, per esempio, il prisma basaltico, non ha più nessuna tendenza a clivarsi in direzione parallela ai piani di essa, cioè, nell'esempio citato, a suddividersi in prismi paralleli fra loro. Uno schisto invece è suscettibile di suddividersi all'infinito in foglie parallele, e nel senso del clivaggio schistoso che gli è particolare.

893. La *schistosità* poi è talmente diversa dalla *stratificazione*, che, se talvolta le è parallela, altre volte invece le è obbliqua, sotto qualunque grado, fino a formare col piano di stratificazione un angolo retto. Talvolta la schistosità piglia un tale sopravvento sulla stratificazione, che questa rimane assolutamente obliterata; e ciò avviene quando la schistosità dipenda da una compressione laterale. Tale compressione infatti, riducendo la massa rocciosa quasi ad un fascio di lamine, il cui piano è normale al piano degli strati, se appena esse lamine si stirano e si spostano, la linea della stratificazione dove così frazionarsi, da divenire irreconoscibile. Baur fu il primo, secondo Bischof, a spiegare la schistosità come un effetto della pressione laterale. Daniel Sharpe confermò la cosa, facendo osservare come i fossili stessi indichino una compressione laterale, cioè sofferta dagli strati normalmente al piano della schistosità. Ben inteso che la schistosità, dovuta alla compressione laterale, non presenta che un caso, una modalità, poichè la compressione, comunque diretta, ha sempre per effetto la schistosità, rimanendo poi sempre i piani di schistosità, normali alla direzione della compressione.

La schistosità si verifica tanto nelle rocce eruttive come nelle sedimentari, perchè le une e le altre possono subire forti compressioni. Per le rocce eruttive essa però si può determinare fino dall'origine, per effetto di una compressione relativamente debole, ma il cui effetto ben deciso si deve alla debole resistenza che offre la roccia allo stato di sua originaria pastosità.

Parlando dei dicchi (§ 230), abbiano già avuto occasione di constatare come la schistosità che affettano le rocce cristalline, le dioriti, i porfidi, parallela alle salbande, non possa spiegarsi che come l'effetto di un attrito, come il risultato di uno stiramento della massa pastosa contro le solide pareti. Ma alla produzione di tale schistosità nelle lave molto plastiche non è necessario l'attrito, che dev'essere sempre piuttosto veemente nei dicchi, bastando quella pressione che la lava scorrente esercita sopra sè stessa. Le bolle schiacciate o stirate, che si convertono poi in amigdali compressi, bastano a mettere in evidenza questa specie di laminazione che le lave esercitano sopra sè stesse, scorrendo come pece, sui fianchi dei monti. Noi abbiamo anzi già altrove ripor-

tato diversi fatti da cui risulta lo schiacciamento, e quindi una vera laminazione, degli stessi elementi solidi inclusi nelle lave (*Parte prima*, § 829). L'effetto dev'essere identico a quello che si ottiene stirando collo spianatojo le paste mangerecce, il ferro col laminatoio; quelle lave devono assumere una forma fogliacea, schistosa. Di quest'effetto dell'attrito delle lave contro sè stesse danno maravigliosi esempî i canali, lasciati vuoti dalle correnti di lava, come ebbi a verificare ultimamente sul Vesuvio e sull' Etna. Abbiamo già accennato (*Parte prima*, § 821) come le correnti di lava, raffreddandosi repentinamente alla superficie, improvvisino a sè stesse un canale coperto, una vera vagina, entro la quale la fluida lava continua a scorrere. Diminuendo, o cessando, l'efflusso di essa lava, il canale si vuota in tutto o in parte, e rimane sotto forma di tunnel, o di semplice canale, quando, come avviene facilmente, la vôlta si sfonda. Allora si rivela il lavorío, al quale accenniamo. Uno stupendo sistema di gallerie e di canali vidi diramarsi alla base dei coni di eruzione, formatisi nell' Atrio del Cavallo, in seguito alla poderosa emissione laterale del novembre 1868. Quei canali disegnano i diversi fili, in cui si era divisa la corrente, nell' atto che erompeva. Le pareti dei canali erano verticali, liscie, ondate da scanellature parallele, longitudinali, a guisa di muro, su cui si spiani orizzontalmente l' intonaco colla cazzuola: offrivano infine il carattere della schistosità. La lava, scorrente nell' interno, deve naturalmente, col successivo raffreddarsi, sovrapporre parecchie mani di quell' intonaco stirato, e ne risulterà una massa schistosa. L'Etna presentommene un bel saggio. La mostruosa corrente del 1852, uscendo dalla Valle del Bove, fermossi quasi all' ingresso di Zafferana, disegnandovi un gran semicerchio di masse e di scorie, in forma di morena frontale. Attraversandola per salire verso la Valle del Bove, la via cammina in un grande alveo sassoso, cioè entro una galleria sfondata lasciata dalla corrente che scorse più basso. Quel canale misura una lunghezza di forse 2 chilometri, una larghezza di circa 60^{m}. Le pareti si elevano da 20^{m} a 30^{m}, e sono, come osservammo sul Vesuvio, lisciate, ondulate, scanellate: ma qui le spaccature delle pareti, e i massi staccati per lo sfondamento della vôlta, mettono a nudo la struttura della muraglia, edificata dalla corrente. Si vede cioè essa muraglia composta di grosse falde sovrapposte, lisciate, ondulate, scanellate, che si staccano facilmente l'una dall'altra, infine di uno schisto, che ha lo spessore di circa 1^{m}, e la forma del gneis, del micaschisto. A questa prima laminazione meccanica deve attribuirsi certamente la schistosità di molte lave recenti e antiche. I porfidi, per esempio, presentano spesso una struttura schistosa, fettucciata, fino al punto di dividersi in stratj papiracei. Nè solo il fenomeno si presenta a contatto e in vicinanza delle salbande nei dicchi, o della roccia ricoperta dagli espandimenti; ma l'intera massa talora è schistosa, ondeggiata, screziata a strisce contorte a guisa (come si esprime E. de Beaumont, parlando del porfido di Frejus) di certe lave che hanno incontrato degli ostacoli nei loro movimenti. Naumann, che cita molti esempî in proposito (*Lehrb.* II, pag. 685) aggiungo: che la schistosità dei porfidi è talora accensata somplicemente da screzî di coloro a strisce, fenomeno che si presenta sovente nelle masse stirate, per esempio nel ghiaccio de'ghiacciaî, e dipende dai diversi riflessi di luce, dovuti alla diversa disposizione delle molecole.

894. Ma questa *schistosità* che noi diremmo *originaria*, è una specialità delle rocce eruttive soltanto; ed anche in esse si distinguerà facilmente da quella dovuta a pressioni subite dopo il consolidamento, sia perchè i cristalli non ne saranno che eccezionalmente affetti, sia per altre circostanze, da valutarsi caso per caso. La schistosità delle roccie è fenomeno così universale, e affetta delle masse di tanta potenza, che va ben altrimenti interpretato.

Digitized by Google

895. Ho attribuito la schistosità alla compressione che si sviluppa per la sovrapposizione degli strati, o in genere delle masse. Ma, venendo ora a considerare il fenomeno più dappresso, sono due i casi in cui si sviluppano compressioni sufficienti a determinare lo schiacciamento, lo stiramento, infine la schistosità delle masse più solide. Il primo caso è quello appunto della compressione sviluppata dalla sovrapposizione delle masse. È il caso più normale, e diremo necessario. Il secondo caso è quando, per le oscillazioni del globo, si verificano degli squilibri, per cui una massa può appoggiarsi sull'altra, con enorme sviluppo di forza meccanica.

L'effetto sarà uguale nell'uno e nell'altro caso, salvo la direzione dei piani di schistosità, che potrà essere differente. Nel primo caso infatti il piano di schistosità sarà (ben inteso per le rocce stratificate) parallelo al piano di stratificazione. Nel secondo caso invece potrà essere obliquo, o anche normale a detto piano. Dico anche normale, potendo essere determinato da pressioni laterali, agenti sopra un gruppo di strati orizzontali, i quali rimarranno schiacciati, raccorciati, risultandone un fogliettamento perpendicolare al piano di stratificazione. In tutti i casi avremo per risultato una *schistosità*, un *fogliettamento* delle rocce, normali alla direzione della compressione, paralleli, obliqui o normali al piano della stratificazione.

896. Il parallelismo della *schistosità* colla stratificazione parvemi il caso ordinario ne'micaschisti, ne'talcoschisti e in genere nelle rocce cristalline stratificate. Rimarcai il fogliettamento visibilmente parallelo agli strati calcarei. Le frequenti masse di calcare saccaroide, che si incontrano nel passaggio del Luckmanier, constano di strati, che direbbonsi inverniciati di talco alla superficie, e ridotti a formare quasi uno schisto di calcare saccaroide con talco. Il calcare saccaroide d'Olciasca, è pure inverniciato di mica, a contatto coi micaschisti. Stupendi a vedersi sono poi gli strati di calcare saccaroide purissimo sul giogo dello Spluga. Nessuna mistura di talco nel calcare; ma gli strati, che si separano molto facilmente, sono inargentati dal talco, che vi forma un vero intonaco, una vera inargentatura, non però unita ma a lembi, a chiazze assai larghe, come se lamine staccate di talco fossero disposte ad arte tra due strati, che venissero quindi passati e compressi fra due cilindri. Se trattasi di rocce massicce, la *schistosità*, prodotta dalla compressione, potrà pigliarsi per vera stratificazione. Io credo, per esempio, che il gnèiss non differisca dal granito se non in quanto è un granito reso schistoso dalla compressione. Di questo caso pratico tratteremo più tardi; ma intanto ci giovi stabilire come una roccia cristallina schistosa non potrà ritenersi con sicurezza come eruttiva o come sedimentare, se non osservando ai caratteri dai quali son poste in evidenza l'una e l'altra origine, prescindendo dalla schistosità.

897. Della schistosità, devianti dal piano di stratificazione, molti esempî riportano gli autori. Sedgwich descrive un distretto d'Inghilterra, ove, sopra una lunghezza di 30 miglia inglesi, o una larghezza di 8 a 10, si vedono i piani di schistosità, ben distinti dai piani di stratificazione, conservare fra loro il più esatto parallelismo, per quanto gli strati si ripieghino e contorcano. Così, formando gli strati delle anticlinali e delle sinclinali, mentre i piani di schistosità si conservano paralleli, questi formano coi piani di stratificazione tutti gli angoli possibili (Naumann, *Lehrb.*, I, pag. 953).

898. Si possono produrre molti argomenti, per provare che le rocce hanno subìto forti compressioni, per cui furono veramente schiacciate, cioè raccorciate, se la pressione agiva lateralmente ossia orizzontalmente, o ridotte ad uno spessore meravigliosamente minore, se la pressione operava verticalmente. I fossili ce ne hanno già offerti di evidentissimi. Un altro lo si deduce dal differente modo di essere di certi strati, appartenenti allo stesso gruppo schistoso.

899. L'effetto della compressione sarà naturalmente maggiore o minore, secondo la maggiore o minore compressibilità degli strati. Ora risultando una massa qualunque composta di strati differenti, quindi anche più o meno compressibili, più o meno resistenti, l'effetto sarà diverso per ciascun strato. Una di tali diversità, per esempio, si verificherà nel senso, che, mentre uno strato compressibile, soggetto ad una compressione laterale, si raccorcierà, per effetto della pressione, un altro, meno compressibile, o non si raccorcerà o si raccorcerà meno. Quando la forza comprimente agisca su tutta la massa stratificata, mentre lo strato compressibile si raccorcia senza bisogno di deviare dal suo piano di stratificazione, l'altro, dovendo pure stringersi entro i limiti del primo, raccorciarsi anche lui in qualche modo, otterrà lo scopo col ripiegarsi sopra sè stesso, accorciandosi, senza pur nulla perdere delle sue dimensioni. Distendete una lista di carta, tra due strati di argilla, poi comprimeteli orizzontalmente: gli strati di argilla si accorceranno senza piegarsi; non così la carta, la quale vedrassi contorta in mezzo ai due strati, rimasti approssimativamente orizzontali.

Spiegando la carta, essa mi darà la lunghezza originaria degli strati. Che tale fenomeno sia realmente avvenuto è chiaramente dimostrato da uno spaccato degli schisti devoniani di Ilfracombe (Devon. sett.) disegnato da Sorby, dove la lista di carta è rappresentata da uno strato di grès, e l'argilla dagli schisti stratificati. Quegli schisti sopportavano una pressione, accusata dai ripiegamenti dello strato di grès, il quale serve, come lo strato di carta, di misura del *minimum* di larghezza, che aveva originariamente tutta la massa. Ciò lascia già quindi pensare, che la schistosità sia un semplice effetto della compressione. Le esperienze tentate da Sorby, in vista di dimostrare col fatto ciò che si poteva ammettere, o almen sospettare per semplice induzione, riuscirono perfettamente. Prese della terra da pipa, molle; la compresse, la calcinò, e ottenne in seguito, spezzandola, delle superficie piane, perpendicolari alla pressione, cioè nel senso dell'allungamento. Succede in questa esperienza una vera *laminazione*. Le particelle plastiche debbono schiacciarsi l'una contro l'altra, formando dei piani paralleli, l'una contra l'altra.

900. Tyndall, colla semplice compressione di una massa di cera, imitò così perfettamente la schistosità, da non potersi dubitare della sua origine (Bischof, *Lehrb.*, III, pag. 3). Daubrée sottopose delle argille a forte pressione, e le convertì ugualmente in masse schistose (*Etudes* ecc., pag. 111).

901. Anche l'antichità delle rocce schistose è un argomento in favore della tesi che sosteniamo. Vi sono delle masse schistose anche in terreni abbastanza recenti. Ma la schistosità si può dire letteralmente estranea ai terreni più recenti, mentre è quasi infallibile caratteristica dei terreni più antichi. Si può stabilire in tesi generale, che la schistosità domina in ragione diretta della antichità delle formazioni. Nei terreni terziarî e nei cretacei si può dire sconosciuta la schistosità. I terreni giuresi sono di rado schistosi, cioè veramente laminati, fogliettati. Lo sono però decisamente nelle Alpi, dove alcuni terreni del trias assumono già, oltre la schistosità, l'indole cristallina. I terreni paleozoici constano in gran parte di veri schisti in tutte le regioni del globo; finalmente i terreni azoici di tutte le parti del mondo si possono definire come una massa enorme di schisti. Siccome la schistosità dipende, in via normale, dalla compressione sviluppata dalla sovrapposizione degli strati; così i terreni saranno tanto più schistosi quanto più sono profondi, cioè quanto più sono antichi.

902. Siccome però la compressione, che determina la schistosità, può svilupparsi, in via secondaria, mediante gli squilibrî delle masse, occasionati dalle oscillazioni del globo; così la schistosità dovrà prevalere nelle regioni più tormentate dai moti inte-

stini, anche indipendentemente dalla relativa antichità dei terreni. Negli esempî che adduco si vedrà come, unitamente alla forma schistosa, le rocce assumano l'indole cristallina. Vedremo infatti come l'indole cristallina cresca anch'essa in ragione dell'antichità dei terreni, e come vi siano ragioni per ritenere che i terreni stessi debbano assumere l'indole cristallina di preferenza nelle regioni più tormentate. Ma questa questione va trattata più tardi.

I depositi siluriani che negli Urali, come si può dire in tutte le regioni rilevate del globo, hanno forma di schisti cristallini, di quarziti, di marmi granulosi, sulle grandi piattaforme, basse e orizzontali, della Russia, si mantengono, secondo Murchison, allo stato di argille molli e di sabbie (Scrope, *Les volcans*, pag. 298). La cosa è resa, quanto si può dire, manifesta, dal confronto tra la litologia delle Alpi e quella delle Prealpi o del Giura. Le marne, i grès variegati del gruppo di Gorno e Dossena (*Raibl Schichten*, *Keuper*), che nelle Prealpi lombarde hanno forma assolutamente litoide, sono grossolani, porosi, fangosi, scabrosi, si mostrano nelle Alpi ridotti alla condizione di schisti (schisti violetti della Maurienne, del Delfinato, ecc.), aventi l'indole degli schisti micacei. Schistose, e fin talvolta aventi l'aspetto di schisti porlacei, trovai nella Tarantasia le rocce dell'infralias, che in Lombardia hanno forma di calcari compatti, marnosi, argillosi, di marne argillose, di schisti argillosi assai molli. Il Lias, sin nel Giura, sin nelle Prealpi, è rappresentato da calcari compatti, da calcari marnosi, ecc. Nelle Alpi invece, per esempio, nei gruppi del monte Bianco, del San Gottardo, del Lucomagno, assumono la forma ordinaria degli schisti carboniferi, o paleozoici in genere, nè si distinguerebbero dagli schisti ardesiaci più antichi, se non fosse la presenza delle belemniti. Le stesse belemniti poi presentarono quanto vi ha di più atto a dipingere al vivo quell'azione meccanica, a cui è dovuta la schistosità del lias alpino. Chi non conosce, per esempio, le belemniti di Petit-Coeur, stirate, sformate, formanti un grosso rigonfiamento nei brani di schisto lucente, mostrando così come, per la durezza propria di quei rostri, resistessero alla compressione molto più della roccia, che veniva stirata, laminata, ridotta quasi ad una serie di pellicole, di squame, incollate, modellate su quei duri organismi.

903. Pigliando di mira la schistosità, in quanto si mostra obliqua o normale al piano degli strati, si vede chiaramente, come essa è dipendente da quella forza istessa, la quale produsse i ripiegamenti anticlinali e sinclinali. È questa una preziosa osservazione dei fratelli Rogers, i quali notarono dietro i loro studî sugli Appalachian, come i piani di schistosità siano paralleli agli assi delle volte anticlinali e sinclinali. Esse curvature sono, come abbiam visto (§ 390), l'espressione delle forze che agirono lateralmente sulle masse stratificate. Come le curvarono e contorsero, così le laminarono: e come i piani di laminatura debbono essere normali alla direzione della pressione, così debbono risultare paralleli ai piani assiali delle anticlinali e delle sinclinali.

904. Un buon argomento dell'origine meccanica della schistosità è dato anche dalla natura delle rocce, ov'essa prevale. Si osservi infatti come le rocce, che la presentano più communemente, anzi quasi invariabilmente, sono le più plastiche, le più compressibili. Schistose a preferenza sono le rocce argillose. Anche nelle formazioni più recenti, ove la schistosità è fenomeno eccezionale, le rocce argillose, marnose, sono schistose talvolta in modo distinto. La cosa è a tal punto, che, quando si parli di schisti, senza predicato, s'intende sempre che si ragioni di schisti argillosi. Prossime alle rocce argillose sono, per la plasticità, le talcose, le cloritiche, le micacee; perciò troviamo che esse rocce sono d'ordinario schistose, e caratteristici

delle antiche formazioni sono, cogli schisti argillosi, gli schisti talcosi, cloritici, micacei. Le rocce meno plastiche, per esempio i calcari, presentano di rado la forma schistosa, e solo nelle formazioni più antiche, e nelle località più tormentate.

905. Un ultimo argomento lo pigliamo da certi accidenti, presentati dalle rocce, nei quali si riconosce evidente l'effetto di quella forza meccanica, alla quale attribuiamo la schistosità. È noto come le pareti, ossia il tetto e il muro dei filoni, si mostrino scannellati e lisciati, fino alla lucentezza metallica. Nessuno dubita che tal liscio non sia l'effetto della forza meccanica, prodotta dallo scivolamento, l'uno sull'altro, dei due piani di frattura. Il levigamento è tale, che dice uno schiacciamento, una vera laminatura delle due superficie, qualche cosa di più dello sgretolamento, presentato più ordinariamente dalle salbande. Quel liscio presenta, sopra una sola superficie, ciò che la schistosità ripete su mille. Un fenomeno affatto identico a quello delle salbande dei filoni, ma ripetuto le mille volte, e a vastissima scala, ci è offerto dal potente gruppo della dolomia triasica (dolomia a *Megalodon*) della valle del Fella nell'alto Friuli. Io non credo che mai si riesca a trovare un esempio più parlante del modo con cui si determina la schistosità. Quella dolomia, è quanto si può dire, dura, secca, vetrigna; è quanto v'ha di più negativo della plasticità. Essa è tuttavia sparsa di aree superficiali lisce, d'aspetto perlaceo, luciccanti ai raggi del sole come fossero smaltate di lamine di talco. Si osserva come a ciascuno di quei piani levigati corrisponde un piccolo salto. L'effetto è come si pigliassero tanti pezzi di piombo, e si costringessero a scivolare l'uno sull'altro sotto forte pressione. Ci ha egli roccia meno plastica della dolomia?

906. Se, in onta a quanto abbiamo esposto, alcuno durasse fatica a persuadersi che rocce durissime, d'indole vetrigna, abbiano potuto stirarsi e laminarsi a modo dei metalli più malleabili, noi non troveremmo nulla a rispondergli di meglio, di quanto si è già detto, ove parlavasi del ripiegamento degli strati (*Parte seconda*, § 342). Io credo che la scienza ci porti ormai a distruggere la vecchia distinzione di corpi liquidi e solidi, o a non ritenerla che come l'espressione di due serie graduate di fenomeni, le quali però si toccano, si fondono l'una nell'altra. Facendo dello stato fisico de' corpi una questione puramente meccanica, io credo che si possano identificare la malleabilità, la duttilità e la liquidità, definendo quest'ultima come una proprietà dei corpi, per la quale le molecole componenti, dato un certo grado di compressione, applicata con una certa lentezza e regolarità, e un certo grado di resistenza, possano distendersi, scivolando l'una sull'altra, mantenendo la mutua adesione. I corpi, che noi diciamo liquidi, sono quelli, alla cui distensione basta la pressione sviluppata dal peso stesso del corpo, benchè avente uno spessore poco considerevole. Perchè i corpi, che noi diciamo pastosi, presentino i fenomeni dei liquidi, basterà che lo spessore della massa sia maggiore, cioè proporzionata alla maggiore resistenza, opposta dal maggior grado di adesione delle molecole. Aumentando sempre più lo spessore della massa, otterremo di produrre i fenomeni della liquidità in corpi per noi letteralmente solidi. Così vediamo un ghiacciajo scorrere a guisa di fiume. Aumentando sempre più lo spessore della massa, o sviluppando ancor più la compressione, coll'aggiunta di una forza agente sulla massa medesima, i fenomeni della liquidità potranno essere presentati dalle masse più rigide, per esempio dal calcare e dal quarzo. È così che, non solo, gli schisti argillosi, ma i minerali più duri in essi compresi, come il quarzo o i granati negli schisti delle Alpi, appajono stirati, laminati, come grumi di cera plasmata senza rottura. È così che un granito può diventare un gneiss.

XXII. Metamorfismo interno. Metamorfismo d'infiltrazione.

L'infiltrazione come agente metamorfico, 907, 908. — *L'acqua discioglie ed esporta*, 909. — *Importa*, 910. — *Donde trae i minerali?* 911. — *Esempi*, 912. — *Tre modi di ricomposizione delle sostanze disciolte*, 913. — *Evaporazione dell'acqua nelle cavità*, 914. — *Origine degli amigdali*, 915-917. — *La loro formazione studiata nelle agate*, 918-924. — *Arnioni e druse*, 925. — *Vene*, 926. — *La cementazione come fenomeno di metamorfismo*, 927. — *Cementazione con nuove combinazioni*, 928. — *Osservazioni di Daubrée sulle acque di Plombières*, 929. — *Autocementazione*, 930. — *Per creazione di un silicato*, 931, 932. — *Per cristallizzazione*, 933. — *La natura del cemento in rapporto coll'antichità delle rocce*, 934. — *Lentezza del metamorfismo per infiltrazione*, 935.

907. Avendo consacrato un capitolo intero alla ricomposizione dei minerali, per via acquea, e un altro alla circolazione sotterranea delle acque (*Parte prima*, capitolo VI e XXIII), possediamo già tutti gli elementi per giudicare dell'indole e della portata di un fenomeno, che si opera attualmente su vasta scala, sotto i nostri occhi. Ora non ci resta che di considerare il fenomeno della soluzione e della deposizione dei minerali, per mezzo delle acque filtrate, come un caso indefinitamente molteplice di metamorfismo, e di formarci un'idea dell'importanza di tale metamorfismo, come quello che si operò in tutte le epoche del globo, dall'istante in cui esistettero delle acque e delle rocce permeabili, e valse a dare a potenti formazioni una nuova e speciale fisonomia.

908. Abbiamo veduto come l'acqua filtra per ogni dove. Non v'ha roccia che si possa dire impermeabile. La stessa selce, ricca talora di dendriti, che si colora artificialmente coll'acqua e coll'olio, di cui si imbeve (Bischof, *Lehrb.*, III, pag. 626), è certamente permeabile all'acqua. Basta che l'acqua contenga dei minerali in soluzione, perchè questi minerali la seguano nel suo passaggio attraverso i pori, e con lei si adunino nelle cavità, e vi si depositino allo stato solido, quando si avverino la perdita della

sostanza che dà all'acqua il potere solvente, o l'evaporazione dell'acqua stessa, o) anche, ciò che abbiamo ommesso di notare altrove, la diminuzione della temperatura.

Qui sono dunque a considerarsi tre fenomeni distinti:

1.° L'acqua discioglie tutti, quasi senza eccezione, i minerali che incontra per via, o da sola o ajutata da qualche solvente. È un fatto dimostrato in più luoghi nei capitoli precedenti, e specialmente dove abbiamo ragionato della virtù dell'acqua, quando operi ad alta temperatura e sotto corrispondenti pressioni.

2.° L'acqua esporta seco i minerali disciolti attraverso i pori delle rocce. Serva di tutta prova il fenomeno della stalattizzazione nelle caverne. La roccia che rimane priva di una parte degli elementi costitutivi ha subito un *metamorfismo d' esportazione*.

3.° L'acqua depone i minerali disciolti, in forma di stalattiti, di incrostazione, di cemento, ecc. La roccia, ove gli elementi sono importati, presenta un caso di *metamorfismo d'importazione*.

909. Il primo fenomeno si traduce già in un caso molteplice di metamorfismo, che si mostra spesso avverato a vasta scala. È un caso frequentissimo quello di trovare le conchiglie fossili allo stato di semplice nucleo; di vedere i coralli rappresentati da una cavità, che ne conserva il modello. Spesse volte una roccia è tutta bucherata, ridotta, direbbesi, allo stato di telaio, di un parenchima, perchè i fossili, ond'era pinza, scomparvero. Questi casi, in cui la virtù erosiva delle acque filtranti è così palese, ci persuadono che l'origine stessa debba attribuirsi ai tanti vacui che si verificano nelle diverse rocce.

Tanti calcari, e specialmente le dolomie cavernose, ridotte all'aspetto ed alla leggerezza dei tufi calcarei, erano certamente in origine rocce compatte, come lo debbono essere i regolari sedimenti. Divennero porose e cavernose per *metamorfismo di esportazione*. Diverse rocce e nominatamente ancora le dolomie, o contengono nelle cavità delle sostanze polverulente, ovvero, senza aver cavità, sono come brecciate di pezzi pure in uno stato più o meno pulverulento. È tale il modo di presentarsi delle dolomie triasiche di Lombardia, per esempio a Pianico, nelle vicinanze di Lovere. Io credo che in questi casi l'acqua non valse che a sciogliere e esportare una parte che serviva come di cemento, per cui il restante rimase così slegato, o polverizzato.

910. Ma l'azione dell'acqua non si arresta d'ordinario a questo caso, diremmo di metamorfismo negativo, e le piace di sostituire ai minerali esportati, altri importati, dando luogo a casi infiniti di metamorfismo positivo. Come sovente le cavità rimaste vuote, per l'esportazione dell'organismo fossile, sono riempite di spato calcareo, di selce, ecc., così le caveruosità delle rocce in genere veggonsi riempite o tapezzate di minerali diversi. Le stesse dolomie lombarde, che troviamo caveruose e pulverulenti a Pianico, mostrano le loro cavernosità tapezzate di cristalli di calce a Esino, e di cristalli di quarzo a Selvino.

I casi di tale metamorfismo positivo sono infiniti, e imprimono a formazioni imponenti un aspetto tutto nuovo, vario secondo l'origine o la forma delle cavità riempite, e vario secondo la natura e lo stato dei minerali che vi sono introdotti. Cominciamo da alcune generalità teoriche, per venir poscia alle specialità.

911. L'acqua che filtra, pregna di minerali in soluzione, si raccoglie nelle cavità delle rocce, qualunque ne sia l'origine e vi depone i minerali disciolti. Dove piglia essa acqua i minerali, cui scioglie e depone? D'ordinario dal corpo stesso della roccia, ove si formano i depositi. Se il terreno è calcareo, le geodi, le druse, le vene, sono esse pure calcaree: nelle arenarie quarzose le druse sono generalmente di

Digitized by Google

quarzo: nelle rocce vulcaniche, composte di silicati multiformi, le vene, gli amigdali constano di selce, di quarzo e di silicati diversi. Il caso più commune di secrezione attuale, per via dell'acque filtranti, che è quello delle stalattiti calcaree, si verifica soltanto nelle cavità dei terreni calcarei.

Siccome però le acque filtrano nelle cavità di una roccia da tutte le circostanze, se in vicinanza di essa roccia si trovano altre, mineralogicamente diverse, dobbiamo attenderci di trovare in quella anche degli elementi rapiti a queste.

912. Nell'isola de'Ciclopi, le bolle delle lave sono talvolta riempite o tapezzate di carbonato di calce o di *ciclopite* (zeolite simile all'analcimo). La stessa ciclopite poi tapezza le fessure delle marne alterate, e iniettate dalle lave (Lyell, *Manuel*, II, pagina 322).

Qui probabilmente le marne diedero alle lave il carbonato di calce, e le lave la ciclopite alle marne. Il calcare del Muschelkalk, confinante con un granito porfiroide presso Colmar, è interamente silicizzato. Il calcare e i fossili contenuti sono conversi in una massa molto simile alla pietra focaia, e nelle cavità si incontrano spato fluore, baritina e talora galena. Pare da non dubitarsi che l'acqua, filtrando dal granito nel calcare, lo impregnasse di selce, tolto al granito, e degli altri minerali che spesso accompagnano le rocce granitiche. Lo stesso fenomeno si ripete precisamente nel calcare e nelle arkose del lias in Borgogna, che riposano sul granito, e sono trapassate da filoni di quarzo. Il calcare oolitico, intatto nel Kentuchy e nel Tennessee, è perfettamente silicizzato nel Missouri, senza che la forma caratteristica degli ovuli ne abbia punto sofferto (Naumann, *Lehrb.*, I. pag. 774). I calcari e i grès in vicinanza dei graniti presentano sovente vene di quarzo, e hanno subìto, dice Delesse, una vera silicatizzazione. Cita a proposito i calcari liasici di Borgogna e del Nivernese, dove il guscio delle grifee arcuate è convertito in quarzo.

913. L'esame delle sostanze tolte alle rocce circostanti e deposte nelle cavità ci presenta tre casi:

1.° *Soluzione e ricomposizione dei minerali identici, sotto identica forma.* — Nei graniti, per esempio, sono frequenti le druse tapezzate di cristalli di feldspato e di quarzo. Le stupende druse del granito di Baveno, a cristalli di feldspato roseo, talora colossali, e di quarzo a piramidi perfette, formano uno de'più ricercati ornamenti dei gabinetti. La trachite dello Stenzelberg, nel Siebengebirge, è tutta seminata di minuti cristalli di anfibolo, che vi figura come altro dei minerali costituenti. Le druse, che abbondano in quella roccia, sono nidi di purissimo anfibolo. Ne raccolsi una, veramente stupenda, del diametro di circa 15 centimetri, ove i cristalli di anfibolo che tutta la riempiono, hanno una grossezza relativamente straordinaria. È evidente in questi casi che l'acqua, disciolti i minerali costituenti le rocce, li ricompone nelle cavità tali e quali, coll'unica differenza che i cristalli, liberi di distendersi a loro piacere, presero forme regolarissime e dimensioni sproporzionatamente maggiori.

2.° *Soluzione di un solo elemento combinato nei minerali costituenti le rocce, e sua ricomposizione allo stato libero.* — Il caso più commune, volgarissimo, è quello della selce, la quale rapita ai silicati, costituenti le rocce eruttive, vien deposta, nelle cavità amigdaloidali, sotto le diverse forme della calcedonia, o del quarzo cristallizzato.

3.° *Soluzione di più, o anche di tutti gli elementi dei minerali costituenti le rocce, e loro ricomposizione sotto forme e in combinazioni diverse.* — Nelle druse del granito di Baveno si rimarcano bellissimi cristalli di fluorina. Siccome la fluorina è affatto straniera al granito, bisogna dire che l'acido fluoridrico del mica, sciolto nel-

l'acqua, che rapiva una porzione di calce ai feldspati (ortose e albite) si ricomponeva, combinato con essa calce, sotto forma di fluato di calce. Il caso più pratico, e pur volgarissimo, è quello delle zeoliti, le quali costituiscono il più ordinario riempimento delle bollosità delle rocce eruttive eminentemente feldspatiche. Esse non rappresentano infine che i feldspati, ricomposti sotto cento forme cristalline diverse, risultanti da qualche leggera alterazione di combinazione.

Il signor Ch. Sainte-Claire Deville ha osservato che le zeoliti possono considerarsi come feldspati, accresciuti di un certo numero di equivalenti di acqua. Così l'ortoclasio e l'albite corrisponderebbero alla stilbite, all'harmatome, all'enlandite, ecc.; l'oligoclasio alla cabasia, all'andesite, alla laumonite, all'analcimo, ecc. la labrodorite, al mesotipo, alla mesolite, alla levina, ecc., l'anortite alla thomsonite. Il signor Damour ha dimostrato che le zeoliti, nominatamente il mesotipo, in Islanda originano dall'azione dell'acqna sulle trachiti. Infatti il mesotipo, prescindendo dell' acqua contenutavi, è la riacolite delle trachiti (Lecoq, *Les eaux minér.*, pag. 249-251).

914. Si può ora domandare: come mai avvenga il depositarsi dei minerali disciolti? come mai, in seno alla stessa roccia, nello stesso vaso, l'acqua scioglie e depone. Ammettendo che si possa dare il caso, in cui la diminuzione della temperatura, o la perdita di un solvente, permettano all' acqua di deporre; si devo ritenere che i depositi nelle cavità delle rocce, non si formino in genere che per evaporazione. Basti, come irrecusabile argomento, la quautità relativamente enorme dol deposito. Calcola Bischof che ci vogliano 10,000 libbre di acqua per tener in soluzione una libbra di ametista. Una amigdale ametistina, del peso di una libbra, non può dunque deporsi, in una cavità, se non vi si adunino 10,000 libbre di acqua, e tal quantità non può adunarsi nella cavità, corrispondente ad una libbra di ametista, se non rimutandovisi 10,000 volte; nè si vedrebbe come possa così rimutarvisi, lasciando il minerale nella cavità, se non svaporando. Dalle osservazioni dello stesso Bischof risulta che le rocce sono permeabili ai vapori, coma all' aria. Le cavità drusiche possono dunque considerarsi come camere aerente, ove l'acqua, che lentissima vi geme, si evapora. Il processo sarà lentissimo, ma non si verificherà perciò meno. La conseguenza sarà il deposito, che si andrà ingrossando per sovrapposizione di strati.

915. Le specialità che siamo per esporre, circa le diverse forme di depositi interni per infiltraziono, serviranno ad accrescere luce a questo modo particolare di metamorfismo.

Esistono dello rocce eruttive, porfidi, melafiri, lave in genere, che si distinguono col predicato di *amigdaloidi*. Sono rocce bollose, cioè ripiene di cavità orbicnlari, simili alle lave bollose o scoriacee, colla differenza che, nelle rocce amigdaloidi, le cavità propriamente non esistono, essendo riempite di sostauze affatte diverse dalla roccia, che vi si modellarono esattamente, mostrando di essere il prodotto di un lavoro conseguente alla formazione o al consolidamento di quelle lave.

916. Lo stesso nome di amigdale, applicato a quei riempimenti, ci conduce facilmente a scoprirne l'origine. Non furono detti sfere o sferoidi, mentre pure si presentano spesso sotto tali forme; ma amigdali, dal latino *amygdalum*, cioè mandorla, perchè più caratteristica dei riempimenti di certi celebri depositi di rocce amigdaloidi, dette dai tedeschi *Mandelstein* (roccie a mandorle) è appunto la forma di lente biconvessa, elittica, la forma infine del frutto, di cui usurpano il nome. Pensato quale dev' essere, ed è, la forma delle bolle che gonfiano una lava in movimento. Schiacciate dalla compressione, stirate dal movimento, devono assumere la forma di una cavità lenticulare, elittica, ove, quando la lava sia solidificata, se un minerale penetra per infiltra-

zione, dovrà modellarsi in forma di mandorla. Notate di più che le bolle di una lava in movimento dovranno tutte essere compresse, e stirate nello stesso senso; per cui gli amigdali, che per avventura vi si generassero, riposeranno colle loro facce schiacciate sovra altrettanti piani paralleli, come paralleli saranno i loro assi maggiori. Tale è appunto sovente il modo di presentarsi degli amigdali (Naumann, *Lehrb.*, I, pag. 445).

917. Probabilmente non altro che amigdali, ossia riempimenti di bolle schiacciate e stirate, sono quelle numerose concrezioni, del diametro di uno o due pollici, in forma di dischi, di lenti, di lancette, che riempiono sovente le masse dei porfidi, così parallele a sè stesse, dice Naumann (*Lehrb.*, II, pag. 686), da imprimere alla roccia l'apparenza della stratificazione. Che siano concrezioni amigdaloidali lo si può desumere anche dal fatto, che talora sono sostituite da cavità, da bolle lenticolari, convertite per lo più in druse di quarzo. Infallibilmente poi va considerato come porfido amigdaloidale quello del Thüringer Wald, ove la calcedonia o il quarzo, associati allo spato calcareo, allo spato fluore, al ferro micaceo, o tapezzano, o incrostano, o totalmente riempiono numerose cellule, in forma di piccole bolle, non altro infine che bolle di un porfido semiscoriaceo.

918. Ma l'esempio più classico, come il più istruttivo, delle formazioni amigdaloidali è offerto dalle agate, o dalle mandorle agatine (*Achatmandeln*), che si trovano appunto annidate nelle rocce eruttive in sì gran numero, da formare dei conglomerati, conosciuti come vere cave di quelle agate che abbondano tanto ne' musei, e di cui giovossi e si giova, fino allo spreco, l'arte del lapidario. Le matrici naturali delle agate sono i melafiri, tanto sviluppati in Germania. I melafiri sono rocce sulla cui natura mineralogica si disputò assai, perchè in genere poco evidentemente cristallini, costituiti invece da una pasta fina, piuttosto omogenea. Sembra tuttavia ammesso, salvo eccezioni, che i melafiri constano normalmemte, come dicemmo (*Parte seconda*, § 211), di una pasta di feldspato labradorite, a cui si associano talvolta il pirosseno, e altri minerali più o meno accidentali. Sono in fondo in strettissima parentela colle doleriti, e coi basalti, perciò di natura eminentemente lavica, e, come tutte le lave, si presentano in dicchi, in espandimenti, aggiungendo talora agli altri caratteri la specialità di essere eminentemente amigdaliferi, il che vuol dire, in origine, eminentemente bollosi. In seno alle bolle si generarono le agate, per cui è celebre la località di Idar.

919. Le osservazioni di Noeggerath e Kenngott (Haidinger, *Naturwiss. Abhandlungen*, III. e IV.), illustrando, fino alla minuzia, questi geniali prodotti dei regni plutonici, hanno sparso gran luce sulla origine degli amigdali d'ogni natura. Le agate dei melafiri presentano le forme già indicate degli amigdali. Anch'esse sono schiacciate, offrono un' allungamento elissoidale, e talvolta una delle estremità della elissoide è stirata, e, direbbesi, filata in punta. Si nota anche qui il parallelismo degli assi maggiori delle elissoidi. Come però deve attendersi da ciò che, per dir così, si modella entro cavità, formate in origine in seno a grandi masse vischiose, bollose, in movimento, le forme regolari non sono nè costanti, e nemmeno prevalenti di numero. Le agate sono spesso binate, aggruppate, confluenti, e presentano ogni modo di irregolarità. Formate di strati sovraposti, paralleli, di diverso colore, e talora di diversa natura, mostrano evidentemente di dover la loro origine a liquidi silicei, che penetrarono nell'interno di una cavità, di cui vestirono le pareti con successivi, regolarissimi, intonachi, fino alla completa ostruzione della cavità stessa.

920. Talvolta l'acqua silicifera, in luogo di aderire alle pareti della cavità, deponendovi la selce, strato sopra strato, gocciovvi in guisa da produrvi forme bacillari, bo-

trioidi, stallatitiche. È sempre il caso però di un riempimento, per sovrapposizione di strati. Non solo l'alternanza delle zone silicee di diverso colore, e l'alternanza di questo con zone di quarzo, indicano un processo di sovrapposizione per infiltrazione acquea, ma lo stesso processo è reso talora evidente dagli stessi cristalli che si isolano così sovente nelle cavità drusiche, o agmidaloidali. Fra le non rare curiosità mineralogiche si noverano i *cristalli incapucciati* di quarzo, formati di successivi inviluppi, che sì facilmente si svolgono l'uno dall'altro. Fra l'uno e l'altro strato si osserva talora uno straterello, o come una vernice, di altra sostanza, sicchè risulta evidente come quei cristalli si formarono per successiva stratificazione, avvenuta talora ad intervalli, sicchè due strati successivi di cristalli non poterono immedesimarsi. Talora gli strati componenti i cristalli accusano le modificazioni che veniva subendo, nel lento processo, il liquido cristallogene. Lecoq cita infatti i grossi cristalli di ametista, alternativamente formati di lamine di quarzo incoloro, e di lamine di quarzo violetto.

921. La grossezza di quegli amigdali, quindi delle bolle originarie (spesso non interamente riempite, ma solo tapezzate, cioè in forma di geodi) è talora veramente singolare. Bischof cita un onice (agata a zone concentriche) di Idar del peso di 106 libbre. Una meravigliosa geode (*Riesen-Mandel*), scoperta nel melafiro di Krouweiler, presso Oberstein, con aggruppamento di cristalli di spato calcareo, osservai nel museo mineralogico di Bonn. È di forma ovale, e il suo asso maggiore è della lunghezza di un metro.

922. I tagli degli amigdali agatini, eseguiti in tanto numero dai lapidari, hanno agevolato all'osservatore lo studio delle minime circostanze, che hanno contribuito a creare tante varietà. Si osserva sovente come l'infiltrazione ebbe luogo sovente attraverso ad una o più fessure, che servirono come di condotti al liquido siliceo. In questi casi gli strati agatini, disegnano per bene il processo dell'acqua, che, gemendo da quelle anguste aperture, si distendeva poi sulle pareti della camera. Si vedono infatti essi strati partire tutti dallo stesso punto, ove sono assottigliati, strozzarsi, o di là distendersi, allargarsi, modellando la cavità amigdaloidale, quasi altrettanto vesciche, incluse l'una nell'altra, poi rigonfie, e strette insieme nello stesso punto. L'esistenza delle fessure non ha del resto fatto altro che facilitare l'infiltrazione, la quale si opera ugualmente attraverso i pori della roccia.

923. Il riempimento degli amigdali, nominatamente la selce, si mostra tanto allo stato amorfo, quanto allo stato cristallino. Nelle collezioni di agate, esposte ne' musei (ne osservai una stupenda dello agate di Mariensberg, in Sassonia, nel museo di Dresda), si osservano, distribuite a strati concentrici, tutte le gradazioni, dalla calcedonia al quarzo limpido. Osserva Bischof come nelle agate ametistine, e diremo nelle agate cristalline in genere, la calcedonia forma gli strati più esterni, il cristallo gli interni. Mano mano che l'intonaco interno si ingrossa, più difficili si rendono l'infiltrazione, e l'evaporazione del liquido. Sempre più lento si fa adunque il deposito. Ognun sa come il depositarsi dei minerali allo stato amorfo, piuttosto che in cristalli dipenda dalla tranquillità e dalla lentezza maggiori o minori, con cui si opera l'evaporazione.

924. Come l'infiltrazione si rallenta, può anche trovarsi, per le stesse ragioni, o impedita, o sospesa. Rimane una cavità, generalmente tapezzata di cristalli, i quali accusano la lentezza dell'ultimo periodo d'infiltrazione, che precedette la sospensione. L'*amigdalo* cambia allora il suo nome con quello di *geode*. Allo stato di *geodi* si trovano infatti ordinariamente i più grossi amigdali (Bischof, *Lehrb.*, III, pag. 634).

925. Come si rallenta, o cessa l'infiltrazione, così può rallentarsi, o venir impedita l'evaporazione. Il caso più probabile, perchè ciò si avveri, è che la roccia sia così porosa e l'acqua così abbondante, che tutta la roccia rimanga quasi sommersa in un bagno, sicchè l'evaporazione non avvenga che nelle regioni superficiali. Ovvero può avvenire che l'evaporazione si operi, ma filtrando nella cavità amigdaloidale sempre nuov'acqua, priva, o povera di minerali disciolti, l'effetto della evaporazione sia eliso, in tutto o in parte, rimanendo permanentemente inondata la cavità. Alla filtrazione in eccesso od alla evaporazione in difetto va attribuita, io penso, la formazione delle celebri *enidri* del Vicentino, delle quali tanto si ragiona nelle lettere del Fortis. Sono amigdali di quarzo, cavi, riempiti di acqua, e in parte di gas, che vi fa l'effetto della bolla d'aria nel livello. Appartengono alle rocce vulcaniche del Vicentino. Per conservare quelle enidri si suole tenerle sommerse nell'acqua, altrimenti il liquido interno si trova in breve tempo svaporato.

926. Gli amigdali e le geodi si possono ritenere come specialità delle rocce eruttive, corrispondendo alle bollosità che, per l'espansione dei vapori e dei gas, rimangono nelle lave o subaeree, o versate a mediocri profondità sottomarine. Tutte le rocce tuttavia presentano delle cavità, talora molto simili alle amigdaloidali, in genere però più irregolari, o assolutamente informi. Qualunque sia la ragione di quelle cavità, il riempimento succede ugualmente, per le stesse ragioni, come colle stesse leggi. Se il riempimento è completo, avremo dei *nidi*, degli *arnioni*; se incompleto, e cristallino, delle *druse*.

927. Le crepature, che si formano nei terreni, sono altrettante cavità, ove l'acqua filtra, svapora, depone. Le *vene* non si diversificano, per l'origine del riempimento, dagli amigdali e dalle druse. Perciò i calcari sono venati di spato calcareo, i grès di quarzo, i graniti di quarzo, feldspato e mica. Le trachiti di Aussig sono venate di zeoliti, che tapezzano tutte le facce determinate dal clivaggio basaltico. Per certe rocce la venatura diventa una caratteristica, diremo una essenzialità, della roccia. I marmi venati, brecciati, le oficalci dell'Appennino, le pietre ruiniformi, ecc., presentano i tipi più decisi di rocce metamorfiche in questo senso. Sono rocce uniformi in origine; spezzate, frantumate in seguito; rilegate in ultimo per un sistema di vene di quarzo, di spato, d'ossido di ferro, di manganese, ecc. Fra le vene originate por infiltrazione meritano speciale menzione le vene di asbesto, di amianto, di crisotile, che riempiono le crepature, o tapezzano le facce del clivaggio, nelle rocce serpentinose, e sono generate dalla ricomposizione degli elementi delle stesse rocce serpentinose. L'asbesto è pei serpentini quello che è l'arragonite per le rocce calcaree.

928. La virtù metamorfica delle acque filtranti va considerata infine come causa di un fenomeno grandioso, che ha tanta importanza nella economia tellurica. Parlo della trasformazione dei terreni molli e incoerenti, in terreni duri e compatti. Ci si concederà che noi ci teniamo rigorosamente nel campo del metamorfismo. Nessun geologo si rifiuta a riconoscere originariamente nella puddinga una ghiaja, nel grès e nella quarzite una sabbia, nello schisto un fango. Il loro indurimento e la loro coesione è di via ordinaria l'effetto di un cemento, dovuto alle acque filtranti. Ogni poro, ogni interstizio tra grano e grano, tra ciottolo e ciottolo, diventa un amigdalo, una drusa. Della cementazione, come abbia luogo attualmente, noi abbiamo già discorso (*Parte prima*, § 177-180), come abbiam fatto cenno dell'origine del cemento nelle rocce aggregate antiche. Qui trattasi di aggiungere solo quel tanto che ci faccia vedere più addentro nella natura del fenomeno, e ci mostri trattarsi di un metamorfismo spesso più vero, più profondo di quello noi sia semplicemente la coesione prodotta da una pasta, che penetra i vacui, e lega i materiali.

Digitized by Google

929. Talora il cemento è estraneo alla roccia cementata, è cemento importato. Ciò si verifica, per esempio, nella formazione dei conglomerati attuali, ove vediamo degli ammassi alluvionali, o morenici, o d'altra origine, cementati dal carbonato di calce, che le acque pluviali tolsero alle sovrastanti montagne calcaree. È il caso già contemplato in cui i minerali disciolti derivano dalle rocce circostanti.

Ma l'acqua, che tiene disciolti dei minerali presi altrove, nell'atto che penetra la roccia, cui dovrà cementare, potrà sciogliere anche dei minerali componenti essa roccia, dar luogo a nuove combinazioni, sicchè ne risulti un cemento combinato di elementi proprî e di elementi estranei alla roccia cementata.

930. Le sorgenti termali di Plombières, ricche di silicati di potassa e di soda, ad una temperatura di 60 a 70 gradi, operarono nel modo più istruttivo per la geologia, in questo senso, filtrando attraverso i cementi, che i Romani distesero in prossimità dei punti, ove esse scaturiscono. Le cavità di quei cementi, composti di un impasto di calce con frammenti di terra cotta o di grès, sono incrostati, o talvolta convertiti in druse cristalline. L'analisi di quelle concrezioni o cristalli, depositi dalle acque, la quale da tanti secoli circolano lentamente entro quei ruderi, rivelò una serie di combinazioni, che si riportano, almeno le più rimarchevoli o abbondanti, alla famiglia delle zeoliti, fra le quali notansi l'apofillite e la cabasia. La diversità di tali prodotti dice già abbastanza per sè, come non trattasi qui di semplice sedimento d'una materia diluita nell'acqua, la quale dovrebbe essere dappertutto identica; ma di una sedimentazione, accompagnata da *reazione* sulla roccia imbibita, giovata da un grado considerevole di temperatura, per cui hanno luogo nuove combinazioni, che hanno la loro ragione di essere: 1.° nella natura minerale e termale delle sorgenti, 2.° nella esistenza di certi minerali nelle rocce bagnate. Osserva infatti Daubrée come le diverse zeoliti non sono sparse a casaccio in quei ruderi romani. L'apofillite, silicato che contiene della calce, oltre la potassa, non si è formata che nelle cavità della calce. Nelle cavità della terra cotta invece, composta essenzialmente di argilla, ossia di silicato d'allumina, si scopre la cabasia, doppio silicato d'allumina e di potassa. Mentre in entrambo i casi l'acqua ci ha messo del suo la potassa, mutuò dalla roccia, incontrata per via, nel primo caso la calce, nel secondo l'allumina. Ove l'acqua termale filtra attraverso il terreno alluvionale, anche prima di giungere al cemento romano, non forma zeoliti, ma solo vi depone una massa argillosa mal definita.

931. I seguenti esempî valgano finalmente a dimostrare, come non c'è bisogno di elementi estranei, perchè la roccia si cementi; potendo l'acqua pigliare gli elementi dal seno stesso della roccia, produrre delle combinazioni, e creare un cemento. Io credo sia anzi questo il caso più pratico, trattandosi specialmente di quelle masse di conglomerati o di grès di così enorme spessore, che non si vedrebbe come l'acqua, la cui azione nei fenomeni qui contemplati sembra ristretta entro una sfera abbastanza angusta, potesse d'altronde importare un cemento. Questa, che direbbesi autocementazione, si opera in diversi modi.

932. Bischof (*Lehrb. d. chem. u. physic. Géol.*, III, pag. 94) discorre di un cemento idraulico, composto di calcare e di trass, che si indura con bastante prestezza. Egli è d'avviso che l'indurimento avvenga per ciò, che il calcare si impossessa di una porzione della selce, appartenente ai silicati del trass (il noto fango vulcanico dell'Eifel), formando un silicato di calce, che si incorpora cogli altri silicati, quasi cemento zeolitico. Allo stesso modo, presso a poco, potremmo spiegare l'idraulicità delle calci e dei communi cementi idraulici. È esperimentalmente dimostrato che i

calcari devono la loro idraulicità alla combinazione con un silicato di allumina, cioè di un'argilla, che si trova in proporzioni circa di 5 a 19 per 100, di cui però la selce rappresenta quasi la totalità (*Parte seconda*, §§ 84-87). È evidente che l'acqua, imbevendo il cemento polverizzato, crea un silicato idrato di calce, una zeolite, che cementa la massa incoerente, e la indura, talora quasi istantaneamente.

933. La formazione dei silicati idrati è dunque un fenomeno che ha luogo a temperatura bassissima, per l'azione delle acque sulle basi o sui silicati preesistenti, azione che va poi sempre più invigorendosi coll'aumentare della profondità, cioè della temperatura e della pressione. Parlandosi poi delle arenarie, o di tutte le rocce detritiche, che sono composte, nella loro quasi totalità, di selce e di silicati, la formazione di cementi silicei, e quindi la trasformazione degli ammassi più incoerenti in rocce durissime, nelle profondità terrestri, si presenta come un fenomeno altrettanto semplice quanto necessario.

934. L'induramento di una massa pulverulenta, quale è un deposito fangoso, può avvenire anche per un effetto di cristallizzazione. Si sa che di tal guisa avviene l'induramento del gesso cotto, ossia disidratato, quando lo si impasta coll'acqua. Avviene in questa circostanza non un semplice imbibimento, ma una vera *idratazione*. L'acqua si unisce al gesso come acqua di cristallizzazione; la cristallizzazione avviene difatti, e l'intreccio de' cristalli produce la coerenza della massa.

935. Ma qui noi ci siamo spinti già troppo oltre, invadendo i confini di quel *metamorfismo regionale*, il quale comprende appunto le radicali trasformazioni, e precisamente la cristallizzazione delle rocce non cristalline, sempre per virtù delle acque filtranti, che finora, se mutarono l'aspetto e modificarono la natura delle rocce, non operarono in esse tale trasformazione, che non basti un predicato, ma ci voglia veramente un nome nuovo per esprimerla.

Osservando come la soluzione dei silicati, per quanto talor si operi a bassa temperatura, esige però in genere temperature elevate, e tali condizioni, le quali non si verificano che nelle profondità del globo; si intenderà di leggeri, come le rocce a cemento siliceo siano relativamente le più antiche. Questo riflesso riguarda specialmente il cemento quarzoso, non sciogliendosi il quarzo che a temperatura alta. Si troveranno facilmente dei conglomerati recentissimi, a cemento calcareo, saldi al pari dei conglomerati più antichi. Non si troveranno dei grès a cemento siliceo, tanto meno poi delle quarziti. Mentre le quarziti si possono dire caratteristiche dei terreni paleozoici, nei terreni subappennini non troviamo che sabbie.

936. La cementazione e la formazione dei depositi, per la stessa via, nelle profondità terrestri è anche questione di tempo. Il signor Bischof fece delle esperienze, per verificare con quale lentezza si operi, in seno alle rocce, l'evaporazione a cui abbiamo trovato condizionata la formazione dei depositi per infiltrazione. Operò sulla trachite, facendo in guisa, che l'acqua non potesse svaporare che attraverso lo porosità della roccia. Calcolando, come abbiam detto, che pel deposito di una libbra di ametista si richiede l'evaporazione di 10,000 libbre di acqua, e misurando la lentezza, con cui essa acqua svapora da una roccia porosa come la trachite, trovò che un amigdalo ametistino del peso di una libbra rappresenta un lasso di 1,296000 anni. Quanti milioni di anni rappresenterebbe quell'onico di Idar del peso di 106 libbre?... Senza farci un punto sicuro d'appoggio di tali calcoli, il processo della secrezione minerale, per infiltrazione acquea, nell'interno del globo, è certo lentissimo, e il risultato può essere anch'egli citato, cogli altri argomenti, in favore dell'antichità del globo.

XXIII. Metamorfismo interno. — Metamorfismo regionale.

La radicale trasformazione dei terreni dimostrata possibile dagli antecedenti, 937-939. — *Mineralizzazione per infiltrazione*, 940. — *Per effetto delle rocce a contatto*, 941. — *Esempî*, 942-946. — *Mutua mineralizzazione delle rocce*, 947. — *Autocristallizzazione*, 948. — *Perchè la mutua mineralizzazione è più evidente della automineralizzazione*, 949, 950. — *Come è ammissibile* a priori *la trasformazione di una roccia qualunque in roccia cristallina*, 951. — *I terreni antichi hanno tutti gli indizi di tale trasformazione*, 952-953. — *Il metamorfismo cresce col tempo e colla profondità*, 954. — *Trasformazione delle rocce più semplici*, 955. — *Delle più complicate*, 956. — *I fenomeni metamorfici si identificano coi genetici*, 957, 958. — *Teorica di Bunsen*, 959, 960. — *Idea di Durocher*, 961. — *Di Waltershausen*, 962. — *Tesi generale*, 963. — *Le oscillazioni del globo come effetto del metamorfismo*, 964. — *Idee di Bischof*, 965. — *Vie da seguirsi in via pratica*, 966. — *Pseudomorfosi*, 967, 968. — *Le pietrificazioni*, 969. — *Attestano la via umido*, 970. — *Rendono evidente il processo del metamorfismo regionale*, 971, 972. — *Si insiste sulla importanza dell'acqua nei fenomeni genetici e metamorfici*, 973. — *Via secca e via umida*, 974. — *L'attività interna del globo si traduce nel metamorfismo regionale*, 975-977.

987. I casi contemplati nel capitolo precedente potrebbero essere già compresi nel *metamorfismo regionale*, di cui stiamo per occuparci. Il *metamorfismo d'infiltrazione* rappresenta, per dir così, gli esordî del *metamorfismo regionale*. Questo nome, proposto da Daubrée, sintetizza il complesso dei fenomeni metamorfici, per cui i terreni sono, più o meno radicalmente, trasformati, fino al punto, che una roccia di pretto sedimento sia cambiata in una roccia cristallina, al punto da confondersi colle rocce eruttive. Ed è ancora per virtù dell'acqua filtrante, che si opera una metamorfosi così singolare.

Le esperienze di Daubrée (§ 236) ci hanno dimostrato esperimentalmente come l'acqua, ad alta temperatura, opera sui silicati, sciogliendoli, e ricomponendoli sotto

Digitized by Google

forme cristalline. Gli studî sulla formazione dei filoni (§ 626), e quelli sul metamorfismo di infiltrazione, ci hanno svelato la moltiplicità dei modi, con cui l'acqua, o liquida o allo stato di vapore, opera, non sui silicati soltanto, ma su tutti i minerali: ci hanno rivelata di più la infinita moltiplicità di prodotti, che la natura ottiene, mettendo in giuoco l'acqua a diverse temperature, e con diversi solventi. Chi volesse saperne di più, lo indirizzeremmo al primo capitolo della grand'opera di Bischof (*Lerhb., di chem. u. phys. Géologie*), che è un ricco trattato delle scomposizioni e delle combinazioni, cioè delle metamorfosi che si operano nel regno minerale, per via umida. È una ingente casistica tratta dalla esperienza, che ci dà un'idea di quelle infinite metamorfosi che devono aver luogo tanto sulla superficie quanto nell'interno del globo, per mezzo dell'acqua che, carica delle diverse sostanze disciolte, penetra attraverso le masse minerali. Noi non possiamo far luogo in nessun modo ad una tale casistica; ma trattando la questione in via di principio, ci basta di potere legittimamente affermare, che non v'ha quasi in natura minerale, cui l'acqua non possa scomporre, e ricomporre, date le opportune condizioni, che in natura pur si verificano a tempo e luogo.

938. La prima di tali condizioni è la temperatura. Parlando dell'azione dell'acqua sui silicati (ed è quest'azione che interessa maggiormente l'economia interna del globo), abbiamo veduto, che si esercita già energicamente a temperature inferiori a zero; ma cresce col crescere della temperatura. A 500° o a 600°, temperatura che io non credo sorpassata nelle esperienze di Daubrée, abbiamo già la creazione dei principali componenti le lave, per la soluzione di un silicato, o piuttosto di una miscela di silicati, a proporzioni indeterminate. Che a maggiori temperature l'acqua agisca nello stesso senso, ma con energia sempre crescente, ce lo provano le lave, questi enormi elaborati dell'acqua a temperatura d'incandescenza.

939. L'azione dell'acqua, deducendo dal complesso dei fenomeni analizzati fin qui, si riduce a sciogliere, esportare, importare, combinare, deporre. L'idea che una roccia possa radicalmente mutarsi; che una roccia sedimentare possa assumere i caratteri, e la natura, di una roccia eruttiva, non sembrerà più a priori come un assurdo. Che si esigerà, per esempio, perchè uno strato sedimentare qualunque assuma i caratteri, anzi la composizione, del granito? Basterebbe che l'acqua trovasse nello strato gli elementi chimici del granito, o ve li importasse d'altronde, esportando quanto non serve alla fabbricazione dal granito. Sono tutte proprietà, che noi non possiamo più negare all'acqua, quando si adempiano le condizioni a cui è legata la sua virtù generatrice. Non potendo negare all'acqua la virtù di sciogliere, importare, esportare, sostituire, atomo per atomo, gli elementi costitutivi di qualunque roccia; non possiamo più rifiutarci ad ammettere la trasformazione di una roccia in un'altra qualunque?

940. Confrontando roccia con roccia, analizzando le condizioni di ciascuna di esse, noi troviamo come tale metamorfismo si operi realmente, gradatamente, fino alla totale trasformazione.

Una prima serie di fenomeni di quest'ordine, ossia una prima serie di gradazioni del metamorfismo regionale, ci fu già offerta da quelle rocce, che noi considerammo come affette semplicemente da *metamorfismo di infiltrazione*. Le roccie amigdaloidi, e le rocce aggregate, legate da diversi cementi, formati a spese di elementi proprî di esse rocce, o importati da altre, o risultanti dalle combinazioni di elementi proprî e di elementi stranieri, ci offrono già altrettanti casi di una trasformazione iniziata, e più o meno avanzata. Un'altra serie di fenomeni dello stesso ordine, ma più ancora parlanti, ce la presentano le rocce a contatto o in vicinanza delle eruttive.

Digitized by Google

941. Non parliamo più del *metamorfismo di contatto*, il quale è ristretto a qnelle modificazioni, che sono prodotte, entro limiti angustissimi, dalle rocce eruttive, nell'atto che irrompono attraverso le rocce preesistenti, dotate di un'altissima temperatura, e accompagnate da agenti, capaci di una azione energica, immediata, sulle roccie a contatto. Non parliamo nemmeno di quel *metamorfismo perimetrico*, ove gli stessi agenti, che accompagnano le lave, operano immediatamente, a distanze indefinite.

Qui la roccia eruttiva agisce semplicemente nel senso che presta gli elementi alle acque, le quali, filtrando più facilmente lungo le linee di dislocazione, possono sciogliere i diversi minerali, esportarli dalla roccia eruttiva nella roccia a contatto, o viceversa, e ricomporli sotto identiche, o sotto diverse forme. Questa mineralizzazione delle roccie è, come abbiamo dimostrato per la formazione degli amigdali, delle vene ecc. (§ 935), un processo lentissimo, che continua per un tempo indefinito, dopo l'injezione della roccia eruttiva, la quale è pertanto occasione, piuttosto che causa del metamorfismo. Ecco alcuni esempî. In questi, e in altri mille, che si potrebbero citare, vedonsi, come è naturale, oltre il fenomeno della mineralizzazione, quelli del metamorfismo di contatto: per esempio, la conversione del calcare in saccaroide, degli schisti in diaspro, ecc. Ma una cosa non va confusa coll' altra. La mineralizzazione, ripeto, non può essere che un fenomeno lento; mentre la conversione in saccaroide, in diaspro, ecc., può considerarsi come istantanea, essendo una vera cottura, prodotta dalle lave incandescenti. Diremo che le rocce modificate per *metamorfismo di contatto*, si mineralizzano poi, per *metamorfismo di infiltrazione*.

942. In Vallorsina, ove il granito commune invia delle vene nel gneiss talcoso, le due rocce sembrano comunicarsi a vicenda la propria natura. Il granito si carica di particelle verdi (probabilmente talco) e il gneiss assume la struttura granitica.

943. Gli schisti, coperti e injettati dai graniti a Cristiania, oltre ad essere diasprizzati, per metamorfismo di contatto, sono fino a distanza di oltre 300 metri, riccamente mineralizzati. I cristalli di amfibolo vi spesseggiano talmente, che quegli schisti si possono pigliare per schisti amfibolici: talora invece si caricano di feldspato e di mica, simulando il gneiss e il micaschisto. Il granito, il ferro, il piombo, il rame, l'argento, sono sparsi nella massa metamorfosata, la quale non lascia perciò di essere fossilifera, salvo in prossimità del granito, ove i fossili interamente scompajono (Lyell, *Manuel*, II, pag. 429).

944. Nei Vosgi e nella Selva Nera, in vicinanza delle masse di granito, gli strati della *formazione del grovacco* sono, sopra larga zona, talmente impregnati di cristalli di ortoclasio, di oligoclasio e di quarzo, che spesso assumono l' aspetto di porfiri. Ma quei finti porfiri sfumano con insensibile passaggio nel grovacco intatto (Bischof, *Lehrb. di chem. u. physic. Géol.*, III, psg. 203).

945. I seguenti esempî sono scelti tra i molti riportati dal *Lehrbuch* di Naumann (I, pag. 352-360). Il calcare siluriano del Skrimfjeld, in Norvegia, con rare tracce di organismi fossili, è, in vicinanza della sienite, convertito in saccaroide e arricchito di grammatite e di altri silicati. Il calcare saccaroide del Monte Monzoni in Tirolo, è pure, a contatto della sienite, ripieno di amfibolo e di altri silicati. È caso ordinario la mineralizzazione degli schisti, ove confinano coi graniti o colle sieniti. Essi schisti assumono una tessitura cristallina, dovuta principalmente alle pagliette di mica, di cui si impregnano. Mano mano che si avvicinano al granito, il mica si sviluppa più abbondante, e in falde più larghe; più in là, si aggiungono grani di feldspato, i quali spesseggiano sempre piu, finchè lo schisto è convertito in quella specie di

gneiss, che fu chiamata Cornubianite. Gli stessi schisti si modificano in modo analogo in vicinanza dei porfidi, e tale modificazione, come è da aspettarsi, consiste nell'arricchirsi di feldspato talmente, che Fournet indicò tale metamorfismo col nome di *feldspatizzazione*. A Brilon, in Vestfalia, lo schisto argilloso, in prossimità del porfido, va assumendo l'aspetto porfirico, impregnandosi di grani di feldspato. Vi sono varietà medie, che hanno tutta la natura del porfido, e conservano la schistosità della roccia originaria. Il calcare del Muschelkalk, presso Rougiers (Dipartimento del Varo), traforato dal basalte ricco di olivina, è sparso di cristalli di questo minerale. In Norvegia l'arenaria, a contatto col basalte, si arricchisce di cristalli di angite.

946. L'ultimo fatto, che riportiamo, come il più decisivo, è descritto da Henslow, e riportato da Delesse nei termini seguenti:

A Plas-Newydd, nell'isola d'Anglesey, esiste un filone di dolerite, dell'enorme spessore di 45 metri. Attraversa degli schisti e dei calcari argillosi. Mano mano che si approssimano al contatto della dolerite, i primi s'indurano, perdono la struttura schistosa, si cambiano fino talora in diaspro variegato; i secondi divengono cristallini. Il più rimarchevole si è che gli schisti divengono mano mano globulosi, e cristalli di granato vi si sviluppano copiosissimi, associati ad una zeolite. Il granato contiene almeno il 20 per 100 di calce. Qui certamente i granati sono un prodotto metamorfico, tanto è vero che dei brachiopodi s'incontrano fin nell'interno de' globuli e dei cristalli.

947. Al modo stesso che l'acqua agisce sulla zona di contatto tra le rocce eruttive e le formazioni da loro traforate o coperte, agirà su qualunque massa rocciosa, con virtù pari alla temperatura proporzionale alla profondità, e con effetto relativo alla natura del terreno. L'estensione del metamorfismo non sarà limitata che dall'estensione dei terreni, non potendosi assegnar nessun limite alla filtrazione delle acque attraverso la crosta del globo.

Ovunque si trovino, o prossimi, o a contatto, due terreni costituiti da diversi elementi, potrà aver luogo lo scambio di essi elementi, ossia la mutua mineralizzazione delle due rocce.

948. Non sarà nemmeno necessaria l'esistenza di due formazioni in rapporto vicendevole, perchè si operi quello che si chiama *metamorfismo regionale*, il quale consiste principalmente nella cristallizzazione della roccia, mediante la soluzione e la ricostituzione sotto forma cristallina degli elementi minerali preesistenti. L'acqua, a temperatura sufficiente, opera energicamente su qualunque roccia; scioglie, combina, cristallizza, come l'abbiam vista operare sul vetro nell'apparato di Daubrée, e sulle trachiti, sui melafiri, convertendoli in rocce amigdaloidi. Così avverrà col tempo, che la costituzione di una roccia si trovi tutta, atomo per atomo, cambiata. Noi indicheremo questo fenomeno col nome di *autocristallizzazione*, e ne vedremo l'immensa portata in geologia.

949. Trattandosi dell'azione dell'acqua ad alta temperatura, la natura opera ugualmente e necessariamente, tanto sulle zone di contatto, quanto sull'intera massa, sulla totalità dei terreni; ma naturalmente con diverso effetto, secondo la diversa natura delle masse, sulle quali opera. Se il metamorfismo si palesa più evidentemente sulle zone di contatto che altrove, piuttosto dove si trovano, in rapporto di mutua mineralizzazione, due rocce, che dove esiste una sola roccia isolata, la quale deve trovare in sè stessa gli elementi del proprio metamorfismo; ciò riguarda, piuttosto che la realtà e il grado di metamorfismo, i nostri mezzi di osservazione e di verifica. Perchè ciascuno rimarcherà facilmente il metamorfismo sulle zone di contatto? Per due ragioni:

Google

1.° Avverandosi la mutua mineralizzazione tra due rocce di differente natura, sarà facilmente spiccato il contrasto tra gli elementi nativi della roccia e gli elementi importati. Chi non sente, per esempio, che i cristalli di amfibolo o di granato, in un calcare fossilifero, sono qualche cosa di assolutamente straniero al calcare, qualche cosa di evidentemente importato? Così chi non dirà che un porfido, il quale, come quello di Angera, fa effervescenza cogli acidi, sulla zona di contatto col calcare, non abbia ricevuto dal calcare stesso del carbonato di calce? 2.° Avverandosi il metamorfismo, come nei casi di contatto, soltanto sopra una certa porzione della massa, è chiaramente accusato dal ritorno della roccia normale. Se io dico invece: questo schisto cristallino, esteso, se così vuolsi, a centinaja di chilometri, lontano da qualunque contatto con rocce di natura diversa, è il risultato della trasformazione di uno schisto argilloso, di un fango sedimentare qualunque; quale argomento metterò in campo per provarlo, se non vedo una roccia a cui lo schisto abbia potuto attingere gli elementi cristallini e se lo stesso schisto è tutto uniformemente cristallizzato? Non sarò più ragionevole ammettendo che quella sia la forma originaria della roccia?

950. Non mi restano adunque, per provare la mia tesi, che gli argomenti meno evidenti, i più difficili, basati sopra induzioni, dedotte da pazienti osservazioni, da lunghe esperienze. Dirò, per esempio, codesto schisto cristallino è stratificato, contiene ancora le tracce di fossili organismi: egli è adunque sedimentare. Ma le acque marine, le acque superficiali, non depongono sedimenti di tal forma, di tale natura. Che ci hanno a che fare coi sedimenti i cristalli di amfibolo, di talco, di mica, di granato? So tuttavia che un sedimento marino, un fango detritico qualunque, nasce dalla degradazione delle rocce preesistenti; che esse rocce sono, per la massima parte, composte di silicati: so infine, che i sedimenti attuali, come gli schisti argillosi più antichi, constano di silicati, in variissime miscele. So d'altra parte, che l'acqua, filtrante nelle profondità del globo, ove trovossi certamente questo schisto antichissimo, so, dico, che l'acqua, dotata di temperatura elevata, dovette sciogliere quei silicati: che ogni particella di questo schisto trovossi nelle condizioni del vetro, chiuso nell'apparato di Daubré. Se l'acqua vi rinvenne gli elementi del mica, del talco, dell'amfibolo, del granato; ne deve necessariamemte aver fabbricati cristalli di mica, di talco, d'amfibolo, di granato. Il fatto che un sedimento, ancora con tracce di fossili (ricordo, per esempio, gli schisti cristallini, granatiferi, con belemmiti nelle Alpi), è ridotto ad un impasto cristallino, m'assicura che, quanto induco ragionando, avvenne di fatto: ed io credo di essere sicuro, asserendo, che quello schisto cristallino, era in origine uno schisto argilloso, convertito in schisto cristallino, per virtù dell'acqua riscaldata a grande profondità nel globo.

951. Volendo generalizzare ciò che mi indusse a ritenere come un caso di *metamorfismo regionale* la conversione dello schisto argilloso in schisto cristallino, e attribuire in genere a tale metamorfismo le rocce cristalline non eruttive, e specialmente l'enorme zona cristallina alla base delle formazioni, che comprende ovunque i terreni azoici, e, secondo i luoghi, gran parte dei paleozoici, dilatandosi anche a terreni più recenti, osserverci:

1.° Che le rocce sedimentari risultano in genere degli elementi delle rocce cristalline, e contengono quindi già in sè stesse gli elementi della propria trasformazione. È questo il punto di partenza della teoria chimica di Bischof, il quale desume lo stato originario delle rocce cristalline dal confronto dell'analisi chimica di ciascuno di esse, colle analisi chimiche corrispondenti delle rocce sedimentari.

2.° Che in genere l'azione dell'acqua riscaldata sugli elementi delle rocce ne produce la cristallizzazione.

Digitized by Google

3.° Che tale virtù dell'acqua cresce in ragione diretta della temperatura, e della pressione corrispondente.

4.° Che le rocce componenti la serie stratigrafica, dalle attuali alle azoiche, presentano tutte le gradazioni, tutte le possibili transizioni, dalle rocce di pretto sedimento, quali si formano attualmente sui fondi marini, alle decisamente cristalline, affatto somiglianti alle rocce eruttive, concette nelle viscere più profonde della terra.

5.° Che l'indole cristallina dei terreni cresce, cioè si rende più decisa, in ragione diretta della loro antichità, e quindi della profondità sotterranea, che attinsero dopo la loro formazione.

6.° Che i minerali costituenti tutte le rocce cristalline si generano per via umida.

7.° Che l'acqua, filtrando ovunque, e a qualunque profondità, esercita un'azione illimitata su tutta la crosta del globo, solo graduata secondo la profondità, e modificata, secondo la diversa natura dei minerali, su cui si porta.

8.° Che tale azione è indipendente dalle rocce eruttive, le quali non servono che a modificarla, quando e dove esistono.

952. La gran zona basilare degli antichi terreni risponde, col suo multiforme, e quasi misterioso, aspetto all'ideale di una trasformazione di grandi masse sedimentari, graduata coll'età, varia secondo la varietà degli elementi, operata dall'acqua a temperatura crescente colla profondità, complicata dalla presenza delle rocce eruttive. Tutti i geologi si arrestarono sorpesi davanti a quella zona misteriosa, in cui si celano i portenti delle epoche antichissime. L'aspetto cristallino vi domina: la stratificazione, e i più schietti caratteri della sedimentazione, si oscurano, si perdono: i fossili, dapprima netti e abbondanti, si svisano, si diradano, sfuggono. Colla graduata scomparsa dei fossili, e collo smarrirsi ugualmente graduato dei caratteri della sedimentazione, si sviluppa gradatamente la cristallizzazione, finchè, perdendo da una parte, guadagnando dall'altra, gli strati non si distinguerebbero più dalle rocce eruttive, se l'assenza dei dicchi, degli interclusi, delle metamorfosi di contatto, ed altri argomenti, non ci avvertissero, che si tratta, non di magma eruttati, ma di sedimenti trasformati. Aggiungi la varietà immensa di aspetto e di composizione: aggiungi la natura dei minerali, che accusa un processo per via umida: aggiungi la schistosità dominante, la laminazione, le contorsioni d'ogni genere, e tutto ciò che accenna ad un complesso di forze meccaniche, che si sviluppano e agiscono di concerto colle forze chimiche. Tutto ci afferma che noi siamo in faccia alle antichissime formazioni, che furono ad un tempo e spettatrici e parte della serie infinita delle rivoluzioni del globo, che accompagnarono e produssero, colle loro lenti e graduali metamorfosi, il lento e graduale svolgimento del globo, che nacquero presto, per subire, pel corso di milioni di secoli, tutto l'influsso delle forze fisiche, chimiche, meccaniche, che lavorano al perpetuo rimutamento della terra.

953. Se noi osserviamo i terreni più recenti, tutto si fa più chiaro: la cristallizzazione è caso eccezionale, la schistosità è poco sviluppata; i contorcimenti sono assai meno forzati; i fossili abbondanti e ben conservati; i caratteri della sedimentazione decisi. Nei terreni recentissimi poi, nessuna maschera di metamorfismo regionale: sono fondi marini, lacustri, fluviali, prosciugati ieri.

954. Volendo poi, dalla considerazione dei grandi complessi, passare all'esame delle singole formazioni, dei singoli strati, tutto risponde ancora, ma in modo più preciso, più determinato, all'idea di quella forza complessa, che ha agito in proporzione dell'età, ossia della profondità, e con effetto corrispondente alla natura dei singoli terreni.

Digitized by Google

I combustibili fossili, i quali si possono considerare come tipi di rocce risultanti dal *metamorfismo regionale*, sono assai adatti a darci un'idea del come esso metamorfismo cresca gradatamento col tempo e colla profondità. Ognuno sa come in generele ligniti, rappresentanti i primi gradi di trasformazione, siano i combustibili dei terreni più recenti, i litantraci dei medî, le antraciti e le grafiti de' più antichi. La gradazione in questo senso si verifica anche pe' diversi strati dello stesso terreno. — Nel bacino carbonifero del Belgio il *flénu*, ossia il litantrace più atto alla fabbricazione del gas, si trova nella parte superiore; il litantrace grasso o da forno, nella parte media; il magro, antracitoso nella parte inferiore. Alcuni strati più profondi, ai limiti inferiori del terreno carbonifero, si trovano allo stato di vera antracite (Delesse, *Études*, etc. pag. 30).

955. Quanto alla corrispondenza tra il metamorfismo, o meglio tra le rocce metamorfizzate e le normali, da cui dovettero derivare; osserviamo dapprima le rocce normali più semplici. Sia, per esempio, un gruppo di strati calcarei, o di banchi di sabbia quarzosa, internato a grande profondità. L'acqua che infiltra, riscaldata sotto forte pressione, che ci può fare? sciogliere il carbonato di calce, e il quarzo. L'unica modificazione possibile sarà la cristallizzazione dell'uno e dell'altro, come è possibile in una roccia compatta. Il metamorfismo regionale si limiterà alla conversione del calcare in *saccaroide*, della sabbia quarzosa in *quarzite*. Solo quando esistano a contatto, o in vicinanza, delle rocce di natura diversa, potrà verificarsi il caso di una mineralizzazione. È così che le grandi masse di saccaroide trovansi impregnate di silicati, a contatto e in vicinanza delle rocce eruttive.

956. Ma che avverrà dei depositi di composizione più complicata? I seguenti periodi di Bischof ce ne danno un'idea, e, colla dilucidazione di un caso pratico, ci prestano la chiave di tutti i casi possibili.

« Diasi il caso che l'acqua meteorica, contenente ossigene e acido carbonico, penetri attraverso una potente massa sedimentare, che racchiuda ferro ossidulato e silicati diversi. Il ferro ossidulato verrà ossidato dall'ossigene, e saranno i silicati alcalini o calciferi decomposti dall'acido carbonico. Ma quando l'acqua ha raggiunto una certa profondità, l'ossigene e l'acido carbonico, sono esausti, o quelle modificazioni cessano. Ma l'acqua si è intanto arricchita di sostanze disciolte, che produrranno nuove metamorfosi nelle regioni inferiori. Qui i silicati, disciolti nell'acqua, potranno combinarsi coi silicati già esistenti, formando dei silicati composti, che, stante la lentezza straordinaria del processo, si cristallizzano. I silicati alcalini, di cui l'acqua si arricchì a spese delle rocce che li contenevano, condotti intatti (*unzersetzt*) nelle profondità, prestano il materiale a nuove combinazioni di silicati, principalmente di zeoliti, che noi troviamo nelle rocce, le quali furono soggette a decomposizione, e specialmente nelle druse. Se i diversi silicati, che si combinano, contengono una quantità di acido silicico maggiore di quella che compete al doppio silicato che ne risulta; la combinazione non potrà aver luogo, che coll'isolamento di una parte di esso acido, ossia di quarzo. La coesistenza dell'ortoclasio col quarzo nelle rocce cristalline, che derivano così dalla metamorfosi di rocce sedimentari, troverebbe la sua spiegazione in quanto si è esposto, salvo il caso che il quarzo preesistesse già. » (*Lerbuch d. chem. u. phys. Géologie*, I. pag. 21.)

Ognuno mi concederà, come si possa, per questa via, giungere fino alla trasformazione di una roccia sedimentare in una lava.

957. Dissi più in alto (§ 234), che i fenomeni metamorfici, e i fenomeni genetici, a un certo punto si identificano. Pensava allora appunto a ciò che doveva avvenire,

quando le rocce diverse, formate o espanse alla superficie del globo, sarebbero grado grado discese fino a quella profondità, ove si preparano le lave. Le esperienze di Daubré, citate al § 352, ci accompagnano fino a quel punto, e rendono esperimentale tutto quel processo che noi diciamo di *circolazione delle rocce*. Un granito, un calcare, un grès, i quali giungano a quella profondità, si troveranno naturalmente condotti entro quell'apparato trasformatore e generatore, così bene imitato dal tubo di Daubré, ove, non solo si trasformano, ma si generano le rocce. La conversione del vetro ordinario o d'altri silicati in cristalli di quarzo, di pirosseno, di mica, di feldspato, di zeoliti, non è una semplice trasformazione, ma una vera generazione. Quel magma acqueo, versato dal tubo di Daubré, è una roccia nuova, formata a spese di una roccia già esistente. Così i vulcani eruttano ogni giorno sulla superficie delle lave, le quali non sono probabilmente che rocce antiche, rigenerate in seno alla terra. La cosa può sostenersi in un senso assai più letterale di quello non si pensi. Quali sono le sostanze che entrano nella composizione dei vetri? Selce o quarzo, anzi tutto, poi calce o carbonato di calce, ceneri che prestano gli alcali, argilla: aggiungi, come meno essenziali, gli acidi, gli ossidi metallici, ecc. — Infine il vetro si fabbrica colla fusione ad alta temperatura di quelle materie, che entrano in maggiore abbondanza, come costitutivi delle rocce. Supposto che la terra nel suo interno fosse una ardente fornace, quando un banco di grès, o un letto di sabbia, con uno strato di calcare o d'argilla, e con alcuno degli impasti alcalini così communi nelle masse cristalline, vi giungano, tutte quelle rocce dovrebbero risolversi in un vetro. Ma l'azione dell'acqua, mentre non impedisce, anzi promove la combinazione dei diversi elementi, si oppone alla vetrificazione; e in luogo di un vetro, produce un magma cristallino, che, appena formato, può essere espulso, ribollente, da un vulcano. Il metamorfismo è compiuto colla generazione di una roccia. Il caso non è ipotetico: ci deve in diverse forme verificarsi necessariamente, continuamente. I grès, le argille, i calcari, le rocce cristalline, che ora appajono alla superficie del globo, dovranno un giorno trovarsi insieme nel suo interno. Il risultato della loro rigenerazione saranno le lave rigettate dai futuri vulcani; come le lave attuali sono forse rigenerazione di lave e di sedimenti d'epoca paleozoica, o anteriore alla paleozoica.

958. Quanto vi ha di non puramente ipotetico nelle teoriche finora inventate, per spiegare la genesi delle rocce endogene, si risolve infine nell'ammettere, piuttosto una rigenerazione di un magma, mediante la riforma di magma preesistente, che una vera generazione, mediante un primitivo radunarsi degli elementi che costituiscono i minerali, e il concorso dei minerali già formati, ma non costituenti ancora una miscela rocciosa. La genesi prima delle rocce, cioè la prima formazione di masse solide nel pianeta, è ancora un mistero, o noi non siamo ancor giunti a quel punto, che ci sia necessario di proporci la questione della primitiva origine della crosta terrestre. Fin qui non dovemmo rispondere che dell'origine delle *rocce eruttive*, di quelle cioè che si apersero la via attraverso la crosta già formata. A questa questione ci pare di aver risposto a sufficienza in base alla osservazione e alla esperienza (Cap. VIII), e di aver rischiarato l'argomento ora, che riconosciamo, ancora in base a quelle osservazioni o a quelle esperienze, nella generazione delle rocce eruttive, una rigenerazione di rocce preesistenti. Diceva che appunto in ciò convengono, in quanto hanno di meno ipotetico, le migliori teoriche.

959. La teorica di Bunsen, detta *ipotesi della miscela* (*Mischungs-Hypothese*), emessa nel 1851, e da lui volta a spiegare l'origine delle rocce vulcaniche propriamente dette, suppone che in origine esistessero i silicati, fusi in una pasta perfetta-

Digitized by Google

mente omogenea, da cui si separarono, durante il raffreddamento, diversi minerali, i cui aggregati costituirono delle rocce. Fin qui tutto è vago, ipotetico, e quel che è peggio, contrario all'esperienza, la quale ci insegna che i prodotti della via secca si possono, almeno per rapporto ai silicati, definire altrettante negazioni della forma cristallina. Dai primitivi aggregati, ossia le rocce immediatamente formate, per l'aggregazione dei minerali primogeniti, dipendono tutti gli altri che si formarono, se ho ben inteso, col continuo metamorfismo, colla continua miscela dei primi. Nel distretto vulcanico d'Islanda, e probabilmente in tutti i distretti vulcanici, le rocce si possono riportare a due gruppi, i quali, per indefinite transizioni mettono capo a due rocce tipiche, che sarebbero come gli anelli estremi di una catena, o meglio li direi, se credessi di avere perfettamente colto nel concetto di Bunsen, i progenitori di tutte le rocce vulcaniche. I due tipi sono:

1.° Il *normale trachitico*, straricco di acido silicico e di alcali (soda o potassa), povero di basi (allumina, calce, magnesia, e ossido di ferro).

2.° il *normale pirossenico*, povero di acido e di alcali, e ricco di basi. Le rocce d'Islanda, specialmente considerate da Bunsen, stanno tutte ordinate tra questi due estremi, sicchè sono da considerarsi, come chiaramente si esprime Naumann (*Lehrb.* I. pag. 693) come *prodotti della fusione o miscele di quei due membri estremi.* L'ipotesi di Bunsen, svolta da lui stesso e da suoi aderenti, comprende ormai in un solo sistema, tutte le rocce cristalline, compresi i porfidi, i graniti, le sieniti, i gneiss.

960. Trattandosi di una numerosissima serie di tipi e di varietà, che tutte constano di un piccol numero di minerali, e di un numero piccolissimo di identici elementi, vedesi come deve essere facile, lavorando colla chimica, ordinare tutte le rocce in una serie progressiva o regressiva, in base alle proporzioni dei diversi elementi, sicchè ne risultino dei naturali aggruppamenti intorno a certi tipi, cioè delle serie derivate, ecc. Ma chi avrebbe coraggio di decidere senz'altro colla chimica la questione della genesi e della cronologia delle rocce? di scambiare delle tabelle di dosaggio chimico per tavole genealogiche o cronologiche, senza consultare la geologia, che ha degli argomenti sicuri per fissare almeno la cronologia delle rocce eruttive e sedimentari? Della teorica di Bunsen piglio dunque soltanto come adottabile il concetto della generazione delle rocce eruttive, mediante la rigenerazione, se vuolsi, la miscela, di rocce preesistenti; non già però per via secca, cosa indimostrabile; ma per l'azione rigeneratrice dell'acqua ad alta temperatura.

961. Quasi identica a quella di Bunsen, e quindi soggetta alle stesse difficoltà, è, come l'osserva Naumann (*Lehrb.* I, pag. 695), l'ipotesi di Durocher, pubblicata nel 1857 (*Comptes rendus*, t. 44, pag. 326). Le rocce ignee, antiche e moderne, sono prodotte e originate da due magma, coesistenti nell'interno del globo, in posizione determinata. L'uno è più dell'altro ricco di acido silicico e di alcali, e più povero di basi. Il primo ha un peso specifico di 2,5 a 2,75 e forma quindi una zona superiore alla zona formata dal secondo, il cui peso specifico è di 2,8 a 3,3. Si riferiscono al primo i graniti, i porfidi, le trachiti, le fonoliti, le obsidiane, ecc. al secondo le dioriti, i melafiri, le eufotidi, i trapp, i basalti, ecc.

962. Secondo le idee di Waltershausen, alla densità dei magma interni, crescente a norma delle loro profondità, deve corrispondere una varietà nella composizione dei magma stessi; per cui avremo una serie, una indefinita gradazione di impasti, dalle regioni più interne alle più esterne. Le lave adunque varieranno a seconda della profondità da cui sono eruttate (Naumann, *Lehrb.* I, pag. 694).

963. Questi sistemi, che hanno troppo dell'artificiale, che ci dipingono il globo

sotto l'ideale di un crogiolo, di una caldaja, ove gli elementi si dispongono pacificamente secondo il rispettivo peso, che non hanno poi nessun fatto, il quale seriamente gli appoggi, che accusano i calcoli di gabinetto più che lo studio della natura, non son tali da soddisfare nessuno, che badi appena all'intestina lotta di tanti elementi, manifestata da tanti e diversi fenomeni; al perpetuo agitarsi di questa mole, di continuo oscillante, che si rimuta continuamente in sè stessa, ove i centri d'attività si spostarono già le mille volte, i cui prodotti intestini offrono infine così strane miscele di minerali fusibili e infusibili, gravi e leggieri, acidi e basici. Parmi, che al grado cui è or giunta la scienza, sia già molto, se può rimanere in genere convinta che, data nell'interno del globo l'esistenza di diversi elementi, o liberi o combinati, e di diversi composti, o soli o già adunati in impasti rocciosi, l'acqua, ad alta temperatura e sotto conveniente pressione, può e deve, rifacendosi, se fa uopo, su lavori altre volte compiti, generare nuovi impasti, che vengono eruttati alla superficie terrestre sotto forma di magma cristallini.

964. Diciamo che si forma una nuova roccia, per metamorfosi delle antiche, e che il prodotto del metamorfismo è una nuova lava. Ciò si accorda benissimo col fatto imponente delle oscillazioni del globo, e colla spiegazione che ne abbiamo data. Infatti prima che quella lava venga espulsa, devono aver luogo dei fenomeni importantissimi. I movimenti intestini del globo, che si traducono in quelle oscillazioni della superficie, a cui si deve il continuo rimutarsi de' mari e de' continenti, non possono non avere dei rapporti con un processo, che tutto ricerca e commove le viscere del globo. Richiamiamo cose già dette, ma cui giova qui ripetere e confermare. Secondo le esperienze di Daubré sulla trasformazione del vetro, il quale può considerarsi come la sintesi di quegli stessi minerali, che si presentano per essere trasformati nell'interno del globo, essa trasformazione avviene con grande aumento di volume, aumento che si può calcolare sia più di un terzo del volume primitivo. Tale aumento, dice Daubrée, può aver bastato, in molti casi, a produrre la spinta e l'eruzione delle rocce. La cosa si accorda assai bene colla teorica di Scrope esposta nella *Parte prima* § 971, dove la spinta, da cui origina il sollovamento, è attribuita alla dilatazione della massa intestina, per effetto dell'accumularsi del calore. La dilatazione che provano già per sè i solidi, per l'aumento della temperatura, verrebbe ad aumentarsi enormemente in causa del metamorfismo, che deve prodursi con maggiore energia, dove il calore si accumula. Si accorda assai bene anche in ciò che dice Bischof circa l'aumento prodotto dalla decomposizione. La decomposizione è il metamorfismo. La spinta, che nasce dalle due cause combinate, sarebbe pur sempre lenta, graduale, larga, e in pari tempo vigorosa, irresistibile paragonabile a quella, che deriva da una massa capillare che si rigonfia, dall'acqua che si congela, tale che dia ragione di quei sollevamenti lenti, graduali, insensibili, eppure capaci di rimutare i mari e i continenti.

Negli intimi rapporti tra la trasformazione chimica e i movimenti meccanici delle grandi masse troveremmo anche le ragioni del fatto già accennato (§ 902) dello svilupparsi cioè dell'indole cristallina a preferenza nelle zone delle maggiori dislocazioni, per esempio nelle Alpi a preferenza delle Prealpi.

965. Ritornando ora sulla idea della formazione delle lave, per la trasformazione interna delle rocce preesistenti, ci troviamo avvicinati, assai meglio che non si potesse pensare, alle idee di Bischof, che sott'altri rapporti non potevamo dividere.

Per quanto Bischof inclini a ravvisare nelle rocce cristalline non altro che sedi-

menti metamorfosati, pure, quando parla di *lave trachitiche* (*Lehrb.*, III, pag. 346), ripetendone l'origine dal metamorfismo degli schisti argillosi, pare si disponga assai bene ad accordarsi coi plutonisti, riconoscendo l'origine vulcanica, benchè non ignea, di alcune almeno fra le rocce cristalline. Confesso anzi che io non seppi formarmi un sicuro concetto delle tesi sostenute da Bischof. Quando egli parla di rocce cristalline, originate dalla trasformazione di rocce sedimentari, intende egli sempre di affermare, che le rocce cristalline non siano che sedimenti, trasformati nel posto ove si trovano? O intende anche di ammettere, che il prodotto della trasformazione possa trasformarsi in roccia eruttiva? Ammette egli, per esempio, che uno schisto argilloso, trasformato per effetto dell'acqua interna in magma trachitico, sia poi eruttato, sotto forma di corrente, da un vulcano, e si rassodi in una vera trachite? Così sembrerebbe, poichè egli appunto, mentre deriva la trachite dalla trasformazione di schisti argillosi, parla poi di *lave trachitiche*. Se egli volesse generalizzare un tale concetto o ciò che afferma delle trachiti ripeterlo dei porfidi, delle dioriti, dei graniti; l'accordo coi plutonisti sarebbe stabilito. Gli immensi studi, dirotti dall'autore allo scopo di provare l'origine acquea delle rocce cristalline, verebbero a portare una gran luce nel campo della endografia. Noi avremmo appreso, come in grembo alla terra si riformano i sedimenti, e si rigenerano le rocce cristalline primitive, e, trasformate in lave, sono rigettate dai vulcani sulla superficie del globo. Noi avremmo già in mano il segreto di quella perpetua vece, che io chiamo *circolazione delle rocce*. In questo senso io consento pienamente colle dottrine di Bischof.

966. Abbiamo dovuto discutere l'argomento piuttosto in via di principio che in via di fatto, poichè trattasi, qui meglio di studi da farsi, che di studi fatti. È un libro aperto, ma di cui non si legge finora che il frontispizio. Volendo discendere nel campo pratico, e dir qualche cosa almeno delle principali forme, sotto le quali si presentano le rocce, in cui si verifica più deciso, e più profondo il metamorfismo regionale, ci troviamo alle prese colla scarsezza de' dati pratici. Ne diremo però abbastanza nel *capitolo* seguente, per mostrare: che la scienza, è già ben avviata attraverso queste regioni inesplorate. Per proseguire le stanno dischiuse due vie: l'esperienza e l'osservazione.

All' esperienza fu già dato un ottimo indirizzo; ed è già un gran risultato quello di averci condotti a stabilire, come assioma, che il *metamorfismo regionale*, nelle sue innumerevoli forme deriva dall' azione dell' acqua riscaldata la cui attività cresce in ragione diretta della profondità. L' osservazione ci dirà poco a poco i diversi modi con cui questa virtù dell'acqua si traduce in una modificazione delle masse componenti la crosta del globo, secondo le diverse circostanze nelle quali si determina la sua azione.

967. Una classe di fenomeni, da cui possiamo dedurre l'attività metamorfica del globo, e i diversi modi con cui si esercita, e i prodotti che ne derivano, è quella delle pseudomorfosi dei cristalli. Mentre la cristallografia ha messo in chiaro quella tenacità, quella gelosia, con cui la natura mantiene le forme cristalline di ciascun minerale; noi troviamo sovente che un minerale presenta esattamente la forma di un altro. La scienza ci autorizza a ritenerla come una maschera, e nulla più. Talvolta è un semplice caso di sostituzione: lo spazio lasciato voto da un cristallo, per qualunque via esportato, viene occupato da un' altra sostanza cristallina, che vi si modella esattamente, mascherandosi colla forma di quel cristallo. In altri casi invece ebbe luogo una vera metamorfosi, per cui un cristallo, senza mutare la sua forma, cambiò la natura mineralogica. Troverassi, per esempio, il serpentino cristal-

Digitized by Google

lizzato sotto la forma dell' augite, dell' olivina, dell' orneblenda. In questi casi, e in molti altri somiglianti, è assai probabile che trattisi di un vero fenomeno di metamorfismo, tanto più quando si trovi, come nei casi citati, che nel minerale originario si contengano già gli elementi del pseudomorfico. In quel modo stesso che Daubrée, fondendo, cioè disidratando il serpentino, ottenne l' olivina; è molto probabile che la natura, idratando l'olivina, produca il serpentino, e così, apportando delle modificazioni a qualunque minerale, ne generi un altro. Anche a questo argomento sono sacre molte preziose pagine dell'opera di Bischof (*Lehrb. d. chem. u. physic. Géol.*, I, pag 143-202) dalle quali si deduce come, col progresso della scienza, le pseudomorfosi costituiranno un ramo non indifferente di una *paleontologia mineralogica*, che ci metterà dentro i più secreti particolari della vita del globo.

968. Tutti i minerali (parlo di quelli che hanno un certo sviluppo e una certa importanza nella composizione del globo) presentano dei casi di pseudomorfismo. Bischof li novera tutti nel 2° volume della sua magnifica opera. Vedasi quale concetto noi dobbiamo formarci della attività interna del globo, che con perpetua vece, compone, scompone, rimesta, respinge, richiama gli elementi, ond'è formata la terrestre mole; vedasi come, se dobbiamo studiare questo complicatissimo sistema di vita interna, e controllare le osservazioni degli autori, non vi ha nulla però che si debba ritenere impossibile *a priori*, e nemmeno ci debba meravigliare in ordine ai fenomeni metamorfici. A quel modo stesso che si opera la trasformazione di un cristallo o di una conchiglia, può avvenire la metamorfosi totale di uno strato o di una formazione. È un abisso di indagini aperto alle generazioni future. Per formarsi poi un concetto del numero come della importanza delle trasformazioni che avvengono; questo misterioso teatro degli elementi, basti il ricordare le pseudomorfosi dello spato calcareo, cioè del calcare cristallizzato, numerate da Bischof (*Lehrb.* II, pag. 120). L'illustre autore della *Geologia chimica* fa uso del *respingere*, per indicare l'azione di un minerale che si sostituisce ad un altro, come se il secondo caciasse a forza il primo, per occuparne il posto. Trattisi di azioni successive, per cui un minerale venga semplicemente a collocarsi al posto di un minerale comunque respinto, ovvero di azioni contemporanee, per cui il minerale, che si sostituisce, sia quello che in certo senso respinge l'altro; è pur sempre vero, che un minerale dev'essere respinto, perchè l'altro ne occupi il posto, e ne assuma la forma. Trentatrè sono le pseudomorfosi dello spato calcareo; sono cioè 33 minerali, che si sostituirono al calcare; 33 metamorfosi, che possono aver luogo in un deposito, che contenga il carbonato di calce. Tra questi minerali, che si presentano sotto le spoglie delle spato calcareo, abbiamo il ferro spatico, lo zinco, la malachite, il quarzo, le diverse specie di selce, l' ossido di ferro, la limonite, la pirite marziale e radiata, la blenda, la galena, la clorite, il fluato di calce, la baritina, ecc.

969. Non lascierò di osservare in proposito come, tra i casi di pseudomorfismo, si noverino le vere *petrificazioni*, o, per meglio dire, le trasformazioni delle sostanze organiche, anzi degli organismi, in minerali a formole determinate. Esempi di tale pseudomorfismo sono offerti dal talco, che si è sostituito alle felci carbonifere di Petit-Coeur, la pirite che a Whitby, e in mille luoghi ha rimpiazzato il guscio dei cefalopodi, ecc. Siccome il guscio delle conchiglie, il parenchima dei polipi, lo scheletro di tutti i testacei, sono composti in gran parte di carbonato di calce; così possono essere sostituiti dai 33 minerali sunnominati: ciò vale a dire che si possono avverare 33 modi diversi di petrificazione dei testacei. Tale pseudomorfismo degli avanzi organici ci presenta altrettanti casi irrecusabili di metamorfismo in rapporto cronolo-

gico immediato colla paleontologia stratigrafica, possibilitando così una nuova cronologia: la *cronologia delle metamorfosi.*

970. Aggiungeremo come la petrificazione, o, più propriamente, la mineralizzazione dei fossili, offre, secondo Bischof, ne' suoi molteplici modi, la più sicura testimonianza del metamorfismo per via umida. Non altro infatti che l'acqua, pregna di sostanze disciolte, si può supporre aver penetrato le masse sedimentari, i calcari e gli schisti più compatti, per riuscire alla trasformazione degli organismi. La cosa risulta altettanto più evidente, quando si osserva, che i minerali, i quali o si sono sostituiti al l'organismo, o ne hanno anche solo riempiti i vacui, e penetrata la profondità dei tessuti, figurano tra i minerali più solubili nelle acque circolanti fornite de' più ordinarî solventi, tra quelli di cui constano più ordinariamente le stalattiti, le geodi, le druse... quarzo, spato calcareo, limonite, emanite, ecc. Perciò si possono ritenere prodotte per via umida le trasformazioni degli organismi in minerali, di cui è meno sancita la solubilità. Uno dei casi più problematici, la conversione in talco dei vegetali carboniferi nelle Alpi, rimane spiegato appena si ammetta, con Bischof, che nelle acque filtranti attraverso quegli schisti, fosse disciolto un silicato di magnesia, che cristallizzossi in talco. Nè la cosa è punto strana, poichè quegli scisti filladici sono generalmente talcosi. In quel modo che le conchiglie, imprigionate in una roccia silicea o calcarea, si riempiono di quarzo o di spato, quei vegetali, imprigionati e decomposti entro scisti talcosi, furono ripieni, o meglio sostituiti dal talco.

971. Nulla inoltre che meglio dei fossili attesti la realtà di quel duplice processo metamorfico, di cui abbiamo bisogno, per dar ragione di cei.e vastissime formazioni. I fossili, così sovente spatizzati, agatizzati, piritizzati, idrossidati, attestano il doppio processo della *cacciata* e della *sostituzione.* Non trattasi qui di un semplice imbibimento, il quale rispetta le sostanze organiche preesistenti, e altre ve ne aggiunge. *L'imbibimento* è un caso di *metamorfismo di infiltrazione.* Quì c'è assai di più: l'azione metamorfica è tale, che non si sa fino a che punto possa portarsi: poichè chi può assegnare i limiti ad un metamorfismo, che estrae gli elementi dal seno delle rocce più compatte, e altre ve ne sostituisce? È tal duplice processo, che io dissi testimoniato dai fossili.

972. Il banco madreporico dell'infralias presso Lecco mostra nelle diverse parti i diversi stadî del processo di fossilizzazione per metamorfismo. Talora i coralli della *Rhabdophyllia longobardica* Stopp., sono perfettamente conservati entro il calcare, sicchè nè studî tutti i particolari di struttura; altre volte invece la roccia appare bucherata in forma di alveare: de'coralli non resta che lo spazio vuoto da essi primitivamente occupato. Altre volte invece, e sempre nello stesso luogo dell'Azzarola presso Lecco, i polipieriti sono letteralmente sostituiti dallo spato calcareo, non conservante nessuna traccia di organismo. Qui dunque si palesa evidente un agente, che rispettando in un punto i coralli, in un altro li distrusse, esportandoli atomo per atomo, attraverso il calcare, poi un altro, o meglio lo stesso agente, che adunò nelle cavità coralline il frutto della sua rapina. E questo agente è l'acqua, che in mille modi ci rivela la sua abilità a sciogliere, esportare, e deporre il carbonato di calce.

Il signor Gruner osservò nelle marne di Sauxais, in contatto coi graniti della Vandea, numerose cavità, prima occupate da belemniti, ora, o semplicemente tapezzate, o riempite, di quarzo, che riproduce le forme del fossile esportato (Lecoq, *Les eaux minér.*, pag. 111.)

973. Vedesi infine, il ripeto, come la scienza può dire d'esser già sulla via di sciogliere i problemi, che parvero finora coperti da un velo di impenetrabile mistero. Ma

perchè i progressi siano rapidi, bisognerà che i geologi si liberino finalmente dal giogo di un plutonismo esagerato, che ha finora forviata la scienza, e si persuadano, che nessun fenomeno geologico sarà completamente apprezziato, finchè non si conosca la parte che l'acqua rappresenta infallibilmente in esso fenomeno.

Quando si parla della parte importante che l'acqua rappresenta nei fenomeni vulcanici, non ci intendiamo già solo basati sul fatto, che l'acqua non manca mai di fare atto di presenza nelle eruzioni dei vulcani. Altre sostanze vi si presentano anch'esse invariabilmente, o quasi invariabilmente; il sale, il solfo, gli acidi cloridico, solfidrico, carbonico, ecc. Non intendiamo nemmeno di far sentire, come l'acqua si presenti sempre in gran copia nelle eruzioni, e talora in quantità così strabocchevole, che tanta non ne riversano i più indiavolati uragani, sicchè l'eruzione direbbe si meglio un diluvio. Non vogliam nemmeno dire semplicemente, che i più apparenti tra i fenomeni vulcanici, le esplosioni dei coni, la lanciata delle pietre, i diluvî di lapilli e di sabbie, i nembi di cenere, tutto si deve alla virtù espansiva del vapore acqueo. Insistendo, come abbiam fatto in due volumi, sulla parte che l'acqua rappresenta nei fenomeni vulcanici e nei fenomeni plutonici, abbiam voluto dimostrare (e si spazzino pur bene le orecchie per sentirlo certuni che si chiamano geologi) che fenomeni vulcanici, fenomeni plutonici, sono fenomeni acquei, come sono fenomeni acquei la brina, la rugiada, la pioggia, la neve: che senz'acqua non c'è vulcano, come senz'acqua non c'è fiume, non c'è mare. Come l'acqua impregna de'suoi vapori ogni atomo della lucida atmosfera; come si addensa in una miriade di sferule nelle nubi; come precipita dal cielo in forma di pioggia, e si svolge vorticosa ne' torrenti, e scorre ne' fiumi, e si distende ne' mari; e nelle sue avventurose peregrinazioni negli spazî aerei e sulla superficie terrestre, modifica l'atmosfera, rode e smaltella i continenti, nutre le piante e gli animali, altrice di quanti fenomeni meccanici, chimici, fisici, organici, costituiscono la vita esterna del globo: così l'acqua penetra ne' più impenetrabili meati; impregna la gran mole terrestre; desta la vita degli elementi in seno alle rocce più dure e più compatte, questi vi aduna in cristalli, quelli rapisce e disperde, circolando con perpetua vece, finchè ella stessa smaglia questi enormi tessuti, gli scioglie, gli strugge, e ne ammanisce le lave, e queste rigonfia e solleva all'altezza degli orifizî vulcanici, ove, libera dall'incubo che la teneva avvinta ai magma intestini, si scioglie di nuovo in seno alla libera atmosfera.

974. I chimici hanno da lungo tempo distinto due grandi serie di effetti, che si ottengono, operando con o senza acqua. A prima giunta questa distinzione di *via secca* e di *via umida* parebbe una puerilità; mentre infine l'acqua non è che uno dei mille minerali, che, o liquidi o gazosi o vaporosi, possono farsi intervenire nelle reazioni chimiche. Ma si direbbe che i chimici avessero subodorata quell'immensa distanza, che separa le due vie, sulle quali sono ripartiti i fenomeni, che si producono, o per arte o per natura, nella combinazione degli elementi. Si direbbe che la natura non conosce che una sola via; la *via umida*. La *via secca* non è battuta che dall'arte. L'arte suda a ridurre col fuoco, ciò che la natura ha ammanito coll'acqua. La natura non adopera che eccezionalmente col fuoco, mentre l'industria metallurgica non si esercita che eccezionalmente coll'acqua. E quando la natura e l'arte si scambiano, per dir così, i rispettivi processi, non ottengono che prodotti mediocri. I cristalli di quarzo ottenuti artificialmente, distano dal più mediocre cristallo di monte, quanto la più pura obsidiana dista dalle più brutte lastre di vetro, prodotto dalle nostre fornaci.

Infine non più *acqua* e *fuoco*, intesi in un senso così primitivo, che ci par d'essere

ancora ai tempi dei quattro elementi; non più *acqua* e *fuoco* considerati come due elementi, che a vicenda si escludono; ma *acqua* e *calorico*, stretti dalla pressione in quel connubio forzato, di cui nasce figlia una immensa virtù generatrice, che è la vita dell'universo.

975. La vita dell'universo si traduce, per così dire, in un gran sistema di circolazione, che si svolge per una serie indefinita di circoli. Così, mentre tutto indefessamente si muta, tutto in pari tempo costantemente si mantiene: così si conciliano il movimento continuo e l'equilibrio perenne; il continuo disordine coll'ordine costante; il moto e lo stato, la vita e la morte, che non si alternano, ma piuttosto si combinano. Anche la massa terrestre, presa nel suo senso più materiale, considerata ne' suoi minerali, nelle sue vene, nelle formazioni che la compongono, si mantiene e si si muta, dentro e fuori, per una specie di circolazione. Erompono sempre nuove lave dai vulcani, si sollevano nuovi monti, emergono nuovi continenti; e le vecchie lave si sgranano, e i vecchi monti si degradano, e i vecchi continenti si deprimono. È la storia del globo, cui avremmo dovuto indovinare, anche quando la geologia stratigrafica non ce l'avesse narrata. Cól riversarsi di nuove lave dallo viscere della terra, col deporsi di nuovi sedimenti, prodotti dalla degradazione dei continenti, vediamo in una parte gli strati superficiali divenir sottostrati, e in altra parte i sottostrati divenire strati superficiali. Colla continuazione dello stesso processo, i primi sottostrati divengono secondi, divengono strati interni, ritornano in seno alla terra, si trovano, se fa uopo, nel centro del globo, o per sovrapposizione di strati, o per depressione; e intanto gli strati interni si fanno mano mano esterni, o per degradazione, o per sollevamento. Lo stesso atomo di calce, di selce, di magnesia, di allumina, ecc. si rimuta continuamente, nel giro de'secoli, dal centro alla superficie, dalla superficie al centro; lo stesso atomo sarà capace di mille combinazioni, secondo il continuo rimutarsi delle condizioni, dei rapporti, nei diversi punti di quel circolo senza fine. Ciò che in oggi è scheletro di un corallo, può essere, di qui a mille secoli, una particola di lava. Così la cosa deve camminare indubbiamente. Ma se la si considera appunto in questo senso, la storia della terra diverrà un problema, che la scienza non ha, e forse non avrà mai mezzi di sciogliere. La gran serie delle epoche, dal Laurenziano all'Antropozoico, ci rappresenta, certo non intero, uno di questi cicli supposti della vita tellurica. Gli strati azoici, o laurenziani, furono, ciascuno alla sua volta, strati superficiali. Seppellendosi successivamente sotto i nuovi strati, che si andarono sovrapponendo, giunsero ad una profondità di forse 40 chilometri, misurando lo spessore degli strati fino all'epoca nostra. Se una porzione di quegli antichissimi strati fu trattenuta, o rimessa alla superficie dal sollevamento, un'altra certamente fu cacciata nelle regioni più interne dalla depressione. Forse le lave del Vesuvio sono già a quest'opera fornite a spese degli strati paleozoici, in balia dei poderosi agenti che governano l'interno del globo.

976. Ma questo ciclo, completo o incompleto, rappresentatoci dal complesso delle epoche, numerate dalla scienza stratigrafica, è egli il primo di una serie indefinita di cicli, che devono svolgersi, o non è piuttosto l'ultimo di una serie indefinita di cicli, che già si svolsero? La scienza non ha modo di rispondere; ma non può rifiutare come assurda nè una ipotesi, nè l'altra. Se non fosse assurdo l'ammettere l'eternità della materia, direi collo Scrope, che « le operazioni successive di fusione, di cristallizzazione, di sollevamento, di conversione in sedimento, sotto l'influsso degli agenti meteorici o organici, di depressione, e di nuova fusione, tutte queste operazioni, dico, possono considerarsi come ripetute continuamente da tutta l'eternità (*Les volcans*,

Digitized by Google

pag. 305). » Se ripugna all'umana ragione l'ammettere che ciò che si succede nel tempo non ebbe principio giammai; la scienza geologica non può fissare questo principio ai cicli terrestri: l'epoca paleozoica può essere considerata da lei, col pieno diritto di un'ipotesi non assurda, come l'aurora di un giorno tellurico, che splendotte dopo cento, dopo mille giorni, ugualmente lunghi, ugualmene ricchi di avvenimenti.

977. Io per me non sono vago di slanciarmi nel libero, ma troppo sterile, campo delle ipotesi. Dalle fatte considerazioni però tiro una conseguenza, che parmi assolutamente legittima; ed è che colla serie dei tempi si mutano continuamente le condizioni delle parti componenti la massa terrestre; che per tale mutarsi di condizioni, deve intendersi, specialmente, e sicuramente, il passaggio dalla condizione di roccia sedimentare, superficiale, in balìa degli agenti esterni, alla condizione di roccia interna, in preda agli energici agenti, che operano nell'interno del globo. Il metamorfismo dev'essere quindi continuo. Quelle arenarie, che oggi si formano a spese del più antico granito, possono un giorno trovarsi in tal punto, ove gli agenti interni le assumano a formare un nuovo granito, simile al primo, precedentemente distrutto. Quante gradazioni, quanti passaggi, tra l'arenaria e il granito! Se avvenga che il sollevamento arresti, per dir così, la discesa di quella superficiale arenaria alla regione più interna del granito, e, da una profondità qualunque, la riconduca alla superficie terrestre; noi vedremo una roccia, la cui natura, diversa da quella del granito, come da quella dell'arenaria, rappresenterà invece una delle gradazioni tra l'uno e l'altra. Quella stessa roccia potrà presentarci altrettanti gradi e modi di metamorfismo, quante sono le linee di profondità, a cui discese, e dove potè essere arrestata.

XXIV. I terreni stratificati considerati sotto il punto di vista della loro origine e delle loro trasformazioni.

978. Il presente capitolo è una semplice rassegna delle principali rocce, nelle quali più certo, più avanzato, più complesso, è il metamorfismo interno, preso di mira specialmente il *metamorfismo regionale*. Questo, per le grandi masse, si traduce principalmente nel fenomeno della autocristallizzazione (§ 948) per effetto dell'ac-

qua, agente ad alta temperatura e sotto forti pressioni, cioè nelle condizioni determinate dalle diverse profondità, a cui dovettero trovarsi le diverse rocce. Le rocce che noi considereremo sono le stesse, cui i geologi classano nelle metamorfiche. Per noi non sono che rocce distintamente *metamorfiche*. Per ben intendere questo capitolo, ove si ragiona in base a principî già dimostrati, bisogna essersi, per così dire, immedesimati coi due capitoli precedenti. In questo si viene all'applicazione dei principî esposti in quelli. Cominciamo dalla roccia più semplice, a metamorfismo più evidente.

979. *Calcare saccaroide.* — Della natura e dell'origine dei calcari abbiamo detto già troppo, perchè valga la pena di ritoccare l'argomento. Ci è anche già abbastanza noto, come il carbonato di calce figuri tra le sostanze più solubili, tra quelle cioè che possono essere, e furono infatti, più facilmente cacciate, importate, sostituite, in virtù dell'acqua circolante, e come quindi, vogliasi agente, vogliasi paziente, debba presentare infinite volte tutti i casi contemplati nel capitolo ove si trattò del *metamorfismo d'infiltrazione*. Ma il calcare è pur la roccia che offre gli esempî più manifesti di metamorfismo regionale, quello principalmente dell'autocristallizzazione, che si compì colla trasformazione dei varî calcari in calcari saccaroidi.

980. I saccaroidi non differiscono d'ordinario dai calcari più puri, se non per l'indole cristallina, che li distingue. Talora quest'indole cristallina consiste semplicemente nel presentare quella grana salina, che li fa assomigliare al quarzo amorfo, senza che de'cristalli si distingua propriamente la forma. Talvolta però la roccia presenta una struttura laminare; la superficie di frattura appare come faccettata, e lascia quasi scorgere la struttura dello spato calcareo. In ogni caso però trattasi di una vera cristallizzazione, per quanto essa sia incompleta, e, per così dire, mollecolare. Masse enormi, intere montagne calcaree, si presentano sotto questa forma. Le acute vette che sorgono tra la via dello Stelvio e il passo del Zebru, in Valtellina, richiamano alla fantasia il duomo di Milano, tutto fabbricato di saccaroide, e la zona di saccaroide, che sembra derivata da quelle vette, e si spinge in seno ai gneiss e agli schisti cristallini del monte Sobretta, a sud di Bormio, vanta forse 60 metri di spessore. Così certo non si depone il calcare, mentre tanti calcari, diversi di aspetto e di composizione, si depongono sotto i nostri occhi, sulle terre, nei letti de'fiumi e lungo le coste del mare per via delle sorgenti incrostanti, e quantità ancora maggiori sono create dagli organismi secretori, in seno agli oceani. Come dunque si formarono quelle sterminate masse di saccaroide, che abbondano in tutte le regioni del globo?

981. Abbiamo già osservato come la trasformazione del calcare in saccaroide a contatto delle rocce eruttive, costituisca uno dei casi più volgari di *metamorfismo di contatto;* e come essa trasformazione debba quindi ripetersi dall'azione dal calore, prodotto appunto dal contatto delle lave col calcare, sottratto all'atmosfera in guisa, che il gaz acido carbonico non potesse sfuggirne (§ 53-55). Queste vedute furono suffragate da diverse esperienze già citate (§ 54), alle quali possiamo aggiungere quelle di G. Rose, il quale, operando in vasi chiusi ad alta temperatura, vide cambiarsi l'arragonite in vero marmo, la creta prendere una struttura granulosa, e la creta stessa, mista a calcare litografico, convertirsi in pretto saccaroide (Bischof, *Lehrb.*, III, pag. 49). La roccia eruttiva, nei casi di contatto, come l'alta temperatura nelle esperienze, non fecero che determinare localmente quelle condizioni, in cui si devono trovare tutte le masse calcaree quando raggiungano certe profondità, ove si verifichi un alto grado di calore, a sufficiente pressione. Abbiamo anche veduto come non sia necessario nemmeno supporre temperature e pressioni esagerate; mentre, se-

Digitized by Google

condo le esperienze di Faraday, la presenza dei vapori acquei favorisce la trasformazione del calcare (§ 54). Da tutto ciò risulta dimostrato, come una necessità, che i calcari, a cui si sovrapposero più recenti formazioni, dello spessore di chilometri, che raggiunsero quindi certe profondità, ove si verificano alte temperature, e forti pressioni, dovettero mutarsi in saccaroidi. L'acqua, anzichè tenersi estranea a questo metamorfismo, dovette favorirlo, come lo proveremo con altri argomenti, da aggiungersi a quelli già dati dalla esperienza.

982. Che la saccarizzazione dei calcari sia un semplice fenomeno di metamorfismo, è dimostrato da ciò, che la conversione dei molluschi fossili in saccaroide è caso frequentissimo, come osserva il signor Blum. Egli ci fa inoltre osservare che questo modo di pietrificazione si verifica più facilmente entro le rocce più porose (ooliti, arenarie, ecc.) che in seno alle più dense (calcari compatti, ecc.). Aggiunge che più volte la saccarizzazione dei molluschi si verifica soltanto, o è almeno più perfetta, nell' interno di essi. Siccome le rocce più porose, sono anche le più permeabili all' acqua, e siccome essa deve raccogliersi e stagnare nell' interne cavità dei molluschi quasi entro geodi o druse; così è evidente che l'acqua agisce nella saccarizzazione, come l'abbiamo veduta agire in tutti i processi genetici e metamorfici. Le osservazioni di Blum servono anche a sancire un vero, che puo già rilevarsi dal confronto dei diversi saccaroidi. La saccarizzazione non è che una cristallizzazione, o, direbbesi una, spatizzazione imperfetta. Infatti, in seno alla stessa roccia, le stesse specie, sono talune convertite in saccaroide, tali altre in spato calcareo. Avviene di scoprire conchiglie le quali hanno una valva saccarizzata, l'altra spatizzata; e lo spato calcareo e il saccaroide sanno fino talora dividersi la stessa valva, senza a vicenda sturbarsi. Così accade che, nella stessa fenditura, le acque depongano qui calcare granuloso o saccaroide, là spato calcareo (Bischof, *Lehrb.* III, pag. 47).

983. Il miglior argomento, per dimostrare che i saccaroidi non sono che calcari communi cristallizzati, mediante il processo sopradescritto, sta nella loro antichità, ossia nel livello che essi occupano a preferenza nella serie stratigrafica. La zona dei calcari saccaroidi è precisamente la zona dei terreni cristallini. Nelle Alpi vi sono sviluppatissimi, vi si ripetono a cento livelli, associati ai gneiss, ai micaschisti, agli schisti amfibolici, agli schisti cristallini in genere, coi quali alternano. Siamo dunque nelle regioni azoiche e paleozoiche. Fuori delle anguste zone di contatto colle rocce eruttive, i calcari triasici si presentano già sotto le forme communi di calcari, offrendo però sovente quella struttura granulosa, che si disse *salina*, e che io considero come una saccarizzazione incipiente, imperfetta. I calcari salini si trovano ancora, in via affatto eccezionale, nel lias. Come ad esempio citeremo il marmo salino di Zandobbio (provincia di Bergamo) appartenente al lias inferiore. Più in su io non trovo che calcari communi; i calcari del giura, della creta, dei terreni terziarî, noti al mondo intero. Ciò che si osserva nelle Alpi, si ripete in tutte le regioni del globo. Le eccezioni che si potessero addurre, non infirmeranno per nulla questa regola generale, che i calcari saccaroidi appartengono, quasi esclusivamente, ai terreni azoici e paleozoici.

È questo il grande argomento, che vale pei saccaroidi, come per tutte le rocce perfettamente metamorfiche da passarsi in rassegna. La zona dei terreni antichi, è la zona dei sedimenti cristallizzati, perchè è la zona dei terreni, che dovettero trovarsi a dieci, venti, trenta chilometri di profondità, a subirvi l'azione dell'acqua ad altissima temperatura, sotto enormi pressioni.

984. La rarità dei fossili nei saccaroidi è, come in genere pei terreni cristallini, altro argomento del loro metamorfismo. Trattasi di un processo intestino, che tra-

sforma la massa intera, dando alle molecole una disposizione affatto nuova. La disorganizzazione degli organismi deve esserne conseguenza quasi inevitabile, come lo mostrano anche le esperienze di Watt (§ 59). Anche i fossili, devono cedere i loro elementi, in quell'immenso laboratorio, ovo tutto deve impiegarsi nella fabbricazione dei cristalli.

985. Avuto riguardo alle condizioni di giacitura dei calcari saccaroidi, dobbiamo aspettarci che non tutto il processo metamorfico sia compito colla saccarizzazione, che è il caso più semplice e più evidente di autocristallizzazione. Chiusi tra gli strati cristallini, alternanti con essi talvolta a sottilissimi strati, è impossibile che sfuggano a quel processo, che noi abbiam detto di mutua mineralizzazione. Al modo stesso che le rocce eruttive, cristalline in genere, accusano sovente la presenza del carbonato di calce; bisogna che i saccaroidi palesino quella dei diversi minerali, tutti solubili, che compongono le rocce, alle quali sono intimamente associati. Ciò si verifica di fatto splendidamente. Associati i saccaroidi ai graniti, ai gneiss, ai micaschisti, ai talcoschisti, ai cloristoschisti, agli schisti amfibolici, sono spesso disseminati di minerali costitutivi di dette rocce; di quarzo, feldspato, mica, talco, clorite, amfibolo, augite, o dei loro ordinari accessori, granato, epidoto, spato fluore, ferro magnetico, blenda, galena, piriti, grafite, ecc. I calcari saccaroidi micacei costituiscono una delle più volgari, come delle più caratteristiche varietà. Osservai specialmente sul Lucomagno e sullo Splügen (regioni ove, dominano tanto gli schisti filladici d'indole talcosa e i talcoschisti), i calcari saccaroidi così misti di talco, da formare degli schisti calcareo-talcosi, tali che meriterebbero di venir considerati come tipo a sè. Molte osservazioni fece in proposito lo Studer. In Val Pellina i saccaroidi sono così ricchi di mica, quarzo e granato, che riesce talora difficile il distinguerli dal granito e dal gneiss, coi quali sono in intima associazione: così sovente nelle Alpi svizzere.

986. *Dolomia.* — La dolomia, roccia sviluppatissima a diversi livelli geologici, roccia che nelle Alpi costituisce da sola una zona, regolarmente stratificata, ricchissima di fossili, dello spessore di oltre 1000 metri, figura ancora tra quelle più problematiche. Siccome da una parte non si può dubitare della sua origine sedimentare comparendo in grandi masse, regolarmente stratificate e fossilifere; e siccome d'altra parte non si vedono attualmente formarsi sedimenti considerevoli, che possano paragonarsele, nacque ben presto l'idea di considerare la dolomia sedimentare come un calcare metamorfosato.

987. Nel 1822 il De Buch emise l'ipotesi del metamorfismo del calcare in dolomia, pel contatto delle rocce eruttive, nominatamente dei melafiri, i quali avrebbero ceduto ai calcari una parte della loro magnesia. I dintorni del lago di Lugano, che si prestavano, come dissi (§ 337), ad ingenerare nell'osservatore una perfetta illusione ottica, in favore della teorica dei crateri di sollevamento, erano ancor meglio adatti a prestare alla teorica del metamorfismo della dolomia tutte le apparenze del vero. La carta geologica di quei dintorni, pubblicata or ora dai signori Negri e Spreafico (*Mem. del R. Istituto Lombardo*, Ser. III, 1869), meglio ancora che la vecchia carta di De-Buch, crea tali apparenze. Noi ci vediamo infatti quell'immensa massa di porfidi, di forse 100 miglia quadrate, tutta incorniciata di dolomia, che le forma quasi un'aureola di metamorfismo d'attorno. Ma quand'anche non fosse dimostrato assurdo un metamorfismo di contatto, spintosi a centinaja, a migliaja di metri di distanza dalla roccia eruttiva (§ 803-806); il distretto di Lugano sarebbe anzi quello che, lasciate le apparenze per interrogare i fatti, si presta come il più opportuno per rovesciare la teorica, che vi aveva cercato una base. Gli argomenti, già in parte riportati, sono i seguenti:

Digitized by Google

1.° La dolomia, che circonda i porfidi di Lugano, è la stessa, che ha immenso sviluppo nelle Alpi e nelle Prealpi, conservando ovunque, approssimativamente, la stessa natura mineralogica, anche nei vasti distretti, ove non esiste traccia di rocce eruttive. È la *dolomia a Megalodon Gümbelii*, costituente il piano superiore del trias (*Parte seconda*, § 733-739).

2.° La dolomia di Lugano fu deposta migliaia di secoli dopo l'eruzione dei porfidi, formanti un espandimento del periodo permiano (§ 338).

3.° Tra la dolomia di Lugano e i porfidi esiste una larga zona di terreni triasici più antichi, che dovevano salvarla dal contatto, e non danno per sè nessun indizio di metamorfismo (§ 338).

4.° I porfidi di Lugano sono veri porfidi quarziferi, distinguendosi, per l'eccesso della selce, in confronto degli elementi basici, ove la magnesia si riduce quasi a sole tracce, come risulta dalle analisi del signor Gargantini Piatti, pubblicate nella citata memoria di Negri e Spreafico.

988. Anche dove si verifica un metamorfismo di contatto, abbiamo dei fatti contraddittori in proposito della dolomitizzazione dei calcari. Scrope parla come di un fatto noto a tutti, della trasformazione del calcare in dolomia, al contatto del basalte, che forma il celebre *Pavimento de' giganti*, e afferma, sull'autorità di Austin, come la presenza della magnesia, proveniente dalla orneblenda, caratterizza i calcari injettati dai trapp (*Les volcans*, pag. 142). Delesse asserisce al contrario che un tale metamorfismo non si verificò finora giammai. Anzi, nell'isola Bute, il signor Bryce osservò un calcare, contenente il 18 per 100 di magnesia, che, divenuto cristallino in vicinanza e a contatto del trapp, ha perduto il 16 e fino il 17 per 100 della sua magnesia (*Philosophical Magazine*, XXXV, pag. 90).

989. Ma comunque avvengano i fenomeni di metamorfismo di contatto e di metamorfismo perimetrico; ammesso anche che, entro certi limiti, le rocce eruttive ricche di magnesia possano determinare la conversione del calcare in dolomia, non c'è luogo a supporre una tale azione nel caso delle grandi masse di dolomia; che appajono, in zone sviluppatissime di sedimento, in tutte le regioni del globo. Quando si parla, per esempio, di una zona dolomitica, dello spessore di centinaja e migliaja di metri, che corre da un capo all'altro le Alpi e le Prealpi, ricca di fossili, incassata tra depositi di pretto sedimento, di calcari, di schisti marnosi, di grès, attraversando distretti, ove talora sorgono rocce eruttive di ogni sorta, talora non ve ne ha traccia; non c'è più luogo a ripetere dalle rocce eruttive un'azione qualunque, che abbia influito sulla natura universale di quella zona. Bisogna dunque cercare altrove le ragioni di quella, e delle somiglianti formazioni.

990. Certamente la dolomia figura tra le rocce più metamorfizzabili, perchè tra le più solubili. Se il carbonato di calce, che entra comunemente per circa la metà a comporla, è tanto solubile; il carbonato di magnesia, che ne compone l'altra metà, lo è, secondo Bischof, 28 volte di più (*Lehrb.*, III, pag. 75). I massi della nostra dolomia, che rimasero lungamente esposti all'atmosfera, sono scanellati, corrosi in mille, versi presentando l'aspetto di un rillevo topografico artificiale. Dall'azione esportante che possono esercitare sulla dolomia le acque filtranti, oltre le sue pseudomorfosi, fanno fede i filoni. Esistono filoni di dolomia, come vi hanno filoni di quarzo e di spato calcareo; tanto che da alcuni si potè credere a una dolomia eruttiva. Sono interessanti in proposito le osservazioni di Klipstein, che rimarcò, nei dintorni di Lahn, filoni e vene di dolomia, che attraversano il calcare di transizione (devoniano).

Il grado distinto di solubilità, di cui godono le dolomie, le rende eminentemente di-

Digitized by Google

sposto a subire quel metamorfismo negativo, il quale consiste nell'esportazione degli elementi componenti la roccia. Noi le abbiamo anzi già presentate come tipiche per tal genere di metamorfismo (§ 909, 910), presentando così sovente il carattere della cavernosità. Le dolomie cavernose, cioè aventi l'aspetto di rocce cariate, tarlate, spugnose, a cavità pulverulenti, sono sviluppatissime nelle Alpi, ove vennero distinte col nome speciale di *cargneules*. Anche quando le dolomie non sono assolutamente cavernose, offrono però sovente delle porosità, dei vacui, e hanno una tessitura pulverulenta. La diminuzione della massa, e della sua coesione, in causa delle parti esportate dalle acque circolanti, spiega le rotture frequenti; spiega quello stato di sfacelo, di disordine caotico, che caratterizza le montagne dolomiche. Ne consegue quelle permeabilità, per cui i nostri distretti dolomitici si presentano quasi altrettanti deserti, mentre al piede di quegli sterili colossi, sgorgano così pure, così copiose, le sorgenti, che irrigano le nostre valli.

991. Le dolomie, si possono adunque considerare come tipi di rocce *metamorfosate per esportazione* (§ 909), e devono questo loro carattere principalmente alla solubilità del carbonato di magnesia. Bischof ci fa tuttavia osservare, come in effetto non sia il carbonato di magnesia, che viene a preferenza esportato, ma il carbonato di calce. Anzi è condotto da ciò a pensare che la dolomia risulti dal calcare, ove la magnesia, di cui quasi ogni calcare contiene una dose maggiore o minore, si concentri, finchè i due carbonati siano ridotti a quelle proporzioni, che son proprie della dolomia (*Lehrb.* III, pag. 81). L'esportazione dei fossili calcarei dal seno della dolomia, e la formazione di cristalli di carbonato di calce nelle sue cavità, sono fatti favorevoli all'idea di Bischof che si verificano sovente, e in modo evidentissimo nelle nostre dolomie. I *Dicerocardium*, che caratterizzano la dolomia del trias superiore, e s'incontrano in tante località delle nostre Prealpi, si presentano generalmente allo stato di nucleo; così gli altri molluschi della stessa formazione. Le *Chemnitzie*, le *Natiche* della dolomia bianca di Esino sono spesso riempite di spato calcareo. La dolomia rosea poi della stessa località, eminentemente cavernosa, si può dire talvolta un aggregato di druse, riempite di cristalli di calce, i quali tapezzano pure mirabilmente l'interno delle *Chemnitzie*.

992. Rifletto però come le *cargneules*, e tutte le dolomie cavernose delle nostre Prealpi non contengano che eccezionalmente cristalli di calce, o spato calcareo, e come essi cristalli si alloggino nelle cavernosità dolomitiche, la cui esistenza precede la formazione dei cristalli di calce. Nella formazione di quei cristalli io non vedrei dunque che un lavoro di infiltrazione, posteriore al grande processo attivissimo di esportazione, che imprime alle dolomie il loro carattere principale. Ben inteso che le ragioni della specialità di metamorfismo andrebbero indagate e discusse caso per caso; ben inteso che in queste questioni di metamorfismo, non si deve tener conto soltanto della minore o maggiore solubilità degli elementi, ma anche di tutte quelle leggi, ancora così misteriose, che regolano i processi di elettività elettro-chimiche, a cui infine si riducono i fenomeni di metamorfismo, i quali hanno luogo per l'azione delle acque filtranti entro la massa del globo.

993. Oltre le dolomie cavernose, pulverulenti, si distinguono le *dolomie saccaroidi*, così dette perchè presentano presso a poco i caratteri fisici dei *calcari saccaroidi*. Sono notissime le dolomie decisamente saccaroidi del San Gottardo, appartenenti alla zona dei terreni cristallini. Osservo di più come una grana più o meno cristallina caratterizzi molto sovente le nostre dolomie triasiche. Le ragioni che abbiamo addotte per la saccarizzazione dei calcari, sono letteralmente applicabili alle dolomie.

994. Ai citati casi di automineralizzazione, dobbiamo aggiungere quelli di mutua

Digitized by Google

mineralizzazione. Spesso le dolomie sono ricche di ferro, di manganese, di quarzo, e d'altri minerali che si possono sospettare importati. La nostra dolomia del trias offre a Selvino (provincia di Bergamo) una bella singolarità. È distintamente cavernosa, e le cavernosità sono tapezzate di cristalli di quarzo, formando un vero aggregrato di druse. Siccome la dolomia facilmente si sfarina, per effetto dell'umidità del suolo; il terriccio di quella località è tutto sparso di piccoli cristalli di rocca, limpidissimi, bipiramidali, conosciutissimi nelle collezioni. È vero, come avverte Bischof (*Lehrb.* III, pag. 54), che esistono dolomie abbastanza ricche di selce, per dar luogo a secrezioni quarzose: nell'esempio accennato però ritengo trattarsi di un vero caso di *mutua mineralizzazione*, avendo io osservato, precisamente a Selvino, in immediato concorso colla dolomia quarzifera, dei porfidi, i quali hanno, secondo ogni probabilità, mineralizzata la dolomia, cedendole, sempre col medio delle acque filtranti, parte della loro selce, che adunossi, allo stato libero, nelle cavità dolomitiche.

995. In ultima analisi però io credo che nulla ci autorizzi a credore le dolomie generate da una completa trasformazione dei calcari, o d'altra roccia qualunque. Che abbiano subito delle modificazioni, delle trasformazioni, è verissimo; come si può dire perfettamente lo stesso de'calcari. Ma come si dice dei calcari, che sono sedimenti originarî, deposti in fondo ai mari, e conservanti, salvo alcune modificazioni, la loro primitiva natura; così si deve dire dello dolomie.

Appoggio il mio asserto a diversi argomenti, i quali, se valgono per le formazioni dolomitiche in genere, militano specialmente per la nostra dolomia triasica, la quale rappresenta forse la più grande formazione dolomitica del globo.

996. In primo luogo osservo che quasi tutti i calcari sono o più meno magnesiferi. Dal calcare a traccie di magnesia, al calcare magnesiaco, che contiene il 10, il 12 per 100, di magnesia, e da questo alla dolomia, ove i due carbonati esistono in proporzioni eguali, vi sono tutte le transizioni, e queste transizioni si verificano nella stessa formazione dolomitica, per esempio nella formazione alpina o prealpina.

997. In secondo luogo gli strati sono talora assolutamente compatti, e i fossili sono conservatissimi, anche nella dolomia bianca, salina. Basti citare in proposito i magnifici *Dicerocardium* di Caino da me descritti, col resto della fauna della *dolomia a Megalodon*, nella terza serie della *Paléontologie lombarde*.

998. Il terzo argomento, senza dubbio il più importante, lo desumo dalla giacitura delle dolomie, nominatamente da quella della nostra grande formazione dolomitica.

La *dolomia a Megalodon*, o *dolomia principale* (Hauptdolomite), delle Alpi o delle Prealpi, è una gran massa stratificata, fossilifera, estesa in lunghezza quanto le Alpi, e dello spessore di 100 a 1000 metri, e anche più, chiusa, in perfetta concordanza, tra la zona degli schisti e dei calcari marnosi dell'infralias, dello spessore di forse 400 metri, e la zona dei grès e delle marne keuperiane di Gorno e di Dossena. Per salvare ogni eccezione locale, diciamo che la gran zona dolomitica è incassata tra la zona dei calcari o degli schisti marnosi della creta, del lias e dell'infralias, e la zona fitta di migliaia di metri, dello marne, dei grès, dei conglomerati, delle calcaree, del trias superiore, medio e inferiore. Se in alcuni distretti si verificano, entro i dominî della dolomia, delle emersioni porfiriche, in altri non v'ha traccia di roccia eruttiva nessuna. I colossi dolomitici delle Grigne, del Resegone, del Venturosa, dell'Arera, non hanno nessun rapporto con rocce eruttive di nessuna sorta. Si domanda dove sarebbero andate quelle colossali masse di dolomia a pescare la loro magnesia? Non la si potendo derivare da altre rocce, non potendosi ammettere in nessun modo un caso generale di mutua mineralizzazione tra i depositi sovrapposti, bisogna necessa-

riamente concludere che, la magnesia ci esisteva già; che il deposito era in origine un calcare magnesiaco, in genere assai ricco di magnesia, fin quasi a toccare le proporzioni della vera dolomia. Le nostre dolomie contengono infatti da 39 a 46 per 100 di carbonato di magnesia (*Parte seconda*, § 83).

999. Ma tale deposito come fu originariamente formato? Sappiamo che il carbonato di magnesia, e lo stesso doppio carbonato di magnesia, e di calce non sono estranei alle acque incrostanti (*Parte seconda*, § 277). Vi sono anche sorgenti, che depongono calcare dolomitico. Una di queste è la sorgente bicarbonata di La-Malm (Hérault). Ma io non credo che per via di sorgenti, possano formarsi grandi depositi in marine profondità, quali son quelle accusate dai nostri enormi depositi di dolomia marina La pressione del mare da vincersi, la diluzione che la sorgente incrostante deve subire in seno all'oceano, l'evaporazione, la quale non può aver luogo che alla superficie del mare, sono ragioni per cui credo impossibile la formazione di depositi idrotermali, eccetto sulle coste e sui bassi fondi. Io credo infine che le dolomie sedimentari siano originate, come la maggior parte delle grandi masse calcaree, per via organica. Ripeto anzi tutto non esservi quasi calcare che non contenga carbonato di magnesia. Ne contengono in dose riflessibile i calcari corallini, stando alle analisi di Dana, il quale ne scoperse il 2, 113 per 100 nel fango dell'isola corallina di Oahu (Bischof, *Lehrb.*, III, pag. 22). Nè in ciò v'ha nulla di strano, perchè sappiamo che nella composizione de'polipai i composti di magnesia ci entrano talora per quantità considerevoli. Le analisi di Silliman (*American Journal of sciences*, 1846) indicano nella *Porites favosa* delle Sandwich 12, 48 e nella *Madrepora palmata* delle Antille 26, 62 per 100 di fluoruro di magnesia. La *dolomia a Megalodon*, da me studiata principalmente nelle Alpi di Lombardia, contiene, tra gli altri fossili, quelli indefinibili organismi, che io ritenni come *amorfozoarî*, e descrissi sotto il nome generico di *Evinospongia* (*Parte seconda*, § 708). Dissi contiene; ma sarebbe meglio il dire che ne è composta. Infatti questi organismi si scoprono a tutti i livelli, e interi strati non solo, ma intere montagne ne sono letteralmente composte, come esposi nella *Paléontologie lombarde*, ove li descrissi e figurai, sia tra i petrefatti di Esino, sia tra i fossili della dolomia a *Megalodon*. La cosa è tanto vera che ad alcuni ripugna il riconoscervi degli esseri organizzati, preferendo di trovare in quelle Evinospongie un modo speciale di struttura della roccia, che poi non si sa definire. Eppure ci si ha da venire; e una volta che ci saremo, i geologi non potranno sconoscere l'importanza di quei banchi di amorfozoarî, dall'indole dei *Tragos* viventi, i quali rappresentano nei nostri mari triasici quello che nei mari di tutte le epoche, e nei mari attuali, rappresentano gli sconfinati banchi di corallo. Quelle *Evinospongie* hanno letteralmente create le nostre dolomie del trias, e bisogna perciò supporre quegli organismi ricchissimi di carbonato di magnesia. È una mia opinione che io ritengo meritevole di considerazione.

1000. *Combustibili fossili.* — Abbiamo detto che i combustibili fossili sono da considerarsi come tipi di rocce risultanti da *metamorfismo regionale* (§ 956). Essi presentano infatti il caso più evidente, e insieme il più perfetto di automineralizzazione, di cui è già noto il processo (*Parte prima*, § 436-44, e *Parte seconda*, § 54-58). Abbiamo infatti, per un attivissimo processo chimico, che si consuma nelle viscere stesse del deposito, una completa trasformazione. Ammassi di legnami sono conversi, per progressivo metamorfismo, in strati di torba, di lignite, di litantrace, di antracite e di grafite. Solo dovevasi dare maggiore risalto alla parte, cui piglia l'acqua anche in questo processo metamorfico, in unione alla temperatura e alla pressione. Abbiamo però osservato

Digitized by Google

come la presenza dell'acqua sia condizione neccessaria della torbificazione, ed era facile conchiuderne, che esser lo dovesse anche delle successive trasformazioni, tanto più che i combustibili fossili si trovano continuamente soggetti alla infiltrazione delle acque circolanti. L'esperienza è venuta del resto a porre il suggello a quanto si poteva dedurre dalla osservazione. Il Daubrée ottenne una vera antracite, semplicemente col sottomettere del legno nell'acqua alla temperatura di 300°, e il Baroulier del vero carbon fossile dai vegetali rinchiusi, a temperatura ancora più bassa, entro l'argilla umida.

1001. *Arenarie.* — A quanto abbiamo detto sulla cementazione, per effetto delle acque incrostanti (*Parte prima*, § 177-180), sulla origine delle rocce aggregate (*Parte seconda*, § 287-290), e sulla cementazione, considerata come fenomeno di metamorfismo (927-932), abbiamo ben poco da aggiungere. Il lettore deve trovarsi ormai in grado d'intender da sè, come un banco di sabbia incoerente possa trasformarsi, grado grado, in grès, raggiungere finalmente la durezza e la compattezza della quarzite. Diamo tuttavia ancora uno sguardo alle rocce aggregate, in quanto possono venir considerate come rocce metamorfiche.

1002. Le arenarie si possono definire *sabbie cementate.* Come le sabbie, constano esse di una accumulazione di granuli di quarzo, talora arrotondati, talora a spigoli ancor vivi, indicando d'aver subito una mediocre fluitazione, o d'esser stati piuttosto sospesi nelle acque dei fiumi e dei mari, che rotolati. Il mica si associa spessissimo in pagliette al quarzo, e v'è talora così abbondante e in tal guisa disposto, che Bischof lo ritiene, in molti casi, prodottovi da metamorfismo. Talora anche vi si trova il feldspato pure in granuli; e son queste arenarie feldspatiche che Brongniart distinse col nome di *arkose.*

1003. Quanto abbiam detto nei paragrafi precedenti basta, perchè non ravvisiamo ormai più che come effetto d'un processo naturalissimo, necessario, il passaggio di quelle masse incoerenti di granuli ad una roccia coerente, durissima. O vogliasi un semplice processo di *cementazione per infiltrazione*, o vogliasi un vero processo chimico di autocementazione (che è infine un modo di automineralizzazione), le arenarie sono nelle migliori condizioni per giustificarli entrambo. Siccome del processo della *cementazione per infiltrazione*, che ha luogo continuamente anche alla superficie, abbiamo dovuto occuparci (*Parte prima*, §§ 177-180); così non ci resta che a dir qualche cosa sulla autocementazione, che si opera specialmente nell'interno del globo, e costituisce un fenomeno grandioso di metamorfismo endogene.

1004. Una famiglia numerosissima di arenarie è distinta dal cemento siliceo. L'analisi di tale cemento mostra però come, non l'*acido silicico*, ma piuttosto dei *silicati*, siano i costitutivi del cemento. La cosa è naturalissima. Per poco che si verifichi miscela di minerali nella massa sabbiosa, che vi si trovino dei feldspati, dei mica, ecc., avremo le condizioni necessarie, perchè le acque agiscano nelle profondità terrestri, come nelle esperienze di Daubrée, e si formino dei silicati, zeolitici, idrati, i quali cementino grano con grano. L'analisi dei cementi silicei dà infatti quegli ordinari elementi, che trovammo negli schisti, e troveremmo in qualunque ammasso si formi per decomposizione delle più communi tra la rocce cristalline, specialmente granitiche, le quali debbono ritenersi aver prestato la stoffa alle imponenti formazioni arenacee delle epoche prime. Noto in genere l'abbondanza straordinaria dell'acqua nei cementi silicei, il che conferma, a tutta evidenza, l'origine per soluzione acquea di quei cementi. Del resto eccovi i massimi ed i minimi dedotti dalle molte analisi offerto da Bischof (*Lehrb. d. chem.* ecc., III, pag. 137).

Digitized by Google

Acido silicico	da 1,64 a 76,86
Allumina	» 3,25 » 38,54
Ossido di ferro	» 13,4 » 64,38
Calce	» 0,40 » 22,22
Magnesia	» 0,08 » 20,00
Acqua	» 10,96 » 43,78

1005. L'altra famiglia, è quella dello arenarie a cemento calcareo. È un tal modo di cementazione che abbiamo veduto operarsi a vasta scala anche attualmente sulle masse detritiche superficiali (*Parte prima*, 177-179), per cui, giudicando da quanto avviene oggigiorno, si direbbe che la cementazione delle sabbie alla superficie avviene, di via ordinaria, per mezzo del carbonato di calce. Sembra che infatti questo sia avvenuto in tutti i tempi, per cui la cementazione, per via di silicati, sia da avorsi in genere come un processo posteriore, che ha luogo soltanto quando sui depositi sabbiosi, portati ad una certa profondità dalla sovrapposizione degli strati, comincia ad agire l'acqua riscaldata a sufficiente pressione. Si intende in questo caso, che il cemento siliceo verrebbe più tardi a sostituirsi al cemento calcareo, con un processo, di cui i gusci calcarei delle conchiglie, sostituiti dalla selce e da altri minerali, ci danno copiosi esempî. Il fatto principale, secondo me significantissimo, a cui si appoggia questo modo di vedere, che è di Bischof, è che i grès a cemento di silicati appartengono in genere ai terreni più antichi; mentre i grès a cemento calcareo si formano ancora attualmente, e appartengono in genere ai terreni recenti. Sono a preferenza silicee le arenarie del trias (*arenarie variegate*), del carbonifero, del devoniano, ecc.; calcaree quelle della creta (*grès verde*, *Planersandstein*), della molassa miocenica, i macigni terziarî dell'Appennino, ecc. Rimarrebbe così di nuovo dimostrata l'origine metamorfica del cemento siliceo.

Tutte queste deduzioni si basano sulle generalità del fatti, salvo il cercare spiegazioni particolari ai fatti eccezionali. Come una grande eccezione cita Bischof (loc. cit. pag. 155) la costituzione del *Quadersandstein* (creta superiore), arenaria enormemente sviluppata in Germania, in cui non v'ha traccia di carbonato, e il cemento è siliceo, ma ridotto al massimo a 2,5 per 100. Accenna d'altra parte ai vasti depositi di sabbie affatto incoerenti, appartenenti pure alla *creta*, nel Belgio, in Vestfalia, ecc. Noi vi aggiungeremo gli enormi depositi di sabbie subappennine. Dette sabbie non portano quasi nessuna traccia di metamorfismo.

1006. *Quarziti.* — Le quarziti non sono da considerarsi come rocce essenzialmente distinte dalle arenarie. La quarzite tipica consta di quarzo granuloso, quasi puro, e si confonde col quarzo amorfo delle vene e dei filoni. Ma vi hanno quarziti impure, bianche, gialle, rosse, variegate, a grani ben distinti, anzi a frammenti di quarzo, che presentano quindi i caratteri più essenziali dei grès e dei conglomerati quarzosi. Tra i grès quarzosi e le quarziti esiste, per mio avviso, una scala graduata, di cui le quarziti tipiche occupano il sommo gradino. La graduazione è tutta nei caratteri accidentali, cioè nella maggiore o minor purezza del quarzo, e nel metamorfismo più o meno avanzato. Le quarziti tipiche sono grès purissimi, e completamente metamorfosate per autocementazione. Io credo di non errare dicendo, che le quarziti stanno alle arenarie, come i calcari saccaroidi ai calcari communi. Il processo principale, da cui risulta la quarzite consiste nella soluzione del quarzo, componente la roccia, e nella sua ricomposizione sotto forma cristallina, per mezzo dell'acqua ad alta temperatura, e sufficente pressione. Per tale origine delle quarziti depone il fatto, che abbiamo in-

vocato come prova principale dell'origine metamorfica dei saccaroidi. Le quarziti sono rocce antiche. Appartengono ai terreni azoici, paleozoioi, e hanno loro sede principale nella gran zona basilare dei terreni cristallini. Su questo fatto si ragioni, come ragionammo pe'saccaroidi (§ 983).

1007. Le quarziti sono spesso ricche di minerali, i quali, secondo i casi, possono ritenersi o generati per ricomposizione sotto forma cristallina dei minerali componenti la roccia, o importati dalle rocce, cui sono associate. Quei minerali possono facilmente ritenersi generati per un processo di *automineralizzazione*, stanchè abbiam visto il cemento delle arenarie contenere gli elementi di una molteplice generazione (§ 1004). Generati invece per *mutua mineralizzazione* si riterranno, con tutta probabilità, quando le quarziti siano intimamente associate a rocce cristalline, di composizione più complicata, come lo sono sovente, anzi ordinariamente, ai micaschisti, ai talcoschisti, agli schisti cristallini in genere. I minerali, di cui le quarziti sono sparse sovente, sono mica, feldspato, orneblenda, granato, cianite, tormalina, rutilo, ferro magnetico, pirite marziale, pirite arsenicale, oro (Naumann, *Lehrb*, pag. 124).

1008. *Quarzoschisti.* — I quarzoschisti (*Quarzschiefer*) possono definirsi: quarziti schistose. Ma c'è di più, che essi divengono assai cristallini, si caricano specialmente di mica, e vengono infine a confondersi coi micaschisti a cui sono associati. Infine sono quarziti, che subirono, nel più alto grado, il metamorfismo meccanico e il metamorfismo regionale, e vengono a porsi a fianco delle rocce seguenti, le quali sono a considerarsi come tipi di rocce metamorfiche perfette.

1009. Esiste una gran famiglia di rocce, che ci rappresentano ancora un'ignota, ribellandosi ad ogni tentativo di spiegarne l'origine, volendole considerare semplicemente o come rocce sedimentari, o come rocce emersorie. Ciò avviene appunto perchè, stratificate e talora fin fossilifere, e, al tempo stesso, composte di minerali decisamente cristallini, anzi spesso di cristalli, testimoniano e sconfessano ad un tempo l'una e l'altra origine, coll'associazione dei caratteri dell'una e dell'altra. Sono queste le rocce, che prime fecero pensare al metamorfismo, e sono anche oggi da tutti i geologi considerate come tipi di rocce metamorfiche, qualunque sia il sistema adottato, per darne spiegazione.

1010. Quelle rocce debbono ritenersi *a priori* come metamorfiche per eccellenza, in quanto che costituiscono appunto la gran zona basilare delle formazioni, quei terreni antichissimi, nominatamente gli azoici, che dovettero, per la sovrapposizione dei successivi sedimenti, trovarsi sprofondati a 10, 20, 30 e fin 40 chilometri entro il gran laboratorio terrestre, ed esservi, prima di risorgere alla superficie, pigiati, laminati, diluiti, cotti, rifatti, entro le formidabili storte. Ma come renderci ragione dell'origine, e della primitiva natura di esse rocce, dopo che sortono trasformate da un processo così lungo e complicato?

1011. Io penso che il merito principale di Bischof sia quello di aver sciolto, o almeno di averci messi sull'unica via per sciogliere, il problema della genesi delle rocce cristalline stratificate, dette roccie metamorfiche dal mondo intero, senza che si sapesse poi dire un ette circa le ragioni e la natura del loro metamorfismo. Questa sola teorica basta per far perdonare all'illustre geologo tutte le sue esagerazioni nettunistiche.

Tentando di ridurre ad una chiara teoria le idee diluite dal Bischof in tre enormi volumi, io mi esprimerei così:

La zona basilare dei terreni cristallini stratificati, così proteiforme, così indefinibile, consta di rocce, le quali possono tuttavia ridursi ai seguenti tipi:

Digitized by Google

1.° Calcari saccaroidi.
2.° Quarziti.
3.° Schisti, detti argillosi, di varia composizione.
4.° Schisti cristallini, riducibili a quattro tipi.
  a) Micaschisti.
  b) Cloritoschisti.
  c) Talcoschisti.
  d) Schisti amfibolici.
5.° Gneiss.

I *calcari saccaroidi* furono generati, per processo di progressiva trasformazione, dai calcari communi.

Le *quarziti* discendono ugualmente dai grès. Dalle argille e dalle rocce argillose provengono, per metamorfismo, gli *schisti argillosi*, i quali generarono, per una serie di indefinite transizioni, i *micaschisti*, i *cloritoschisti*, i *talcoschisti*, gli *schisti amfibolici*.

Così avremo nella regione cristallina metamorfica, antica, che comprende i terreni azoici e paleozoici, le stesse rocce che nella zona normale, moderna, che comprende i terreni cretacei, terziarî e posterziarî. Esse rocce sono distinte fra loro soltanto dal metamorfismo, quasi nullo nella zona moderna, avanzato o completo nella zona antica, con transizioni nella zona media, che comprende i terreni triasici e giuresi. Così tutta la serie stratigrafica si compone di uguali sedimenti, di eguali prodotti della degradazione dei continenti, della sedimentazione idrotermale e degli organismi; si compone cioè di calcari, di grès, di argille, dando a questi nomi tutta la larghezza possibile di significato, e aggiungendovi, se fa d'uopo, i combustibili fossili, allo stato di torba, di lignite e di litantrace nei terreni, più recenti di antracite e grafite nei terreni più antichi. Tutto s'intende nei limiti di una vasta generalizzazione.

1012. La trasformazione dei calcari in saccaroidi, o delle quarziti, è facile ad ammettersi, e può dirsi per sè evidente. Noi l'abbiamo del resto dimostrata. Non si avrà nemmeno molta difficoltà ad ammettere la trasformazione delle argille, o degli impasti argillosi, in schisti argillosi, presentando questi l'indole di quelli, salvo la maggior compattezza, la lucidezza, la schistosità, effetto della laminazione, e talvolta quella tessitura cristallina, che caratterizza pure i saccaroidi e le quarziti. Ma l'idea che un'argilla siasi convertita, per esempio, in un micaschisto, anche ammettendo che ci sia di mezzo, come transizione, lo stadio di schisto argilloso, è tal cosa, che urta a prima giunta, e che sente troppo dell'ipotetico, dell'immaginario.

1013. Badiamo tuttavia a questo fatto, che, mentre i calcari e i grès sono rocce di composizione relativamente semplice ed eguale, le argille e gli schisti argillosi sono d'impasto vario e complicatissimo. Le analisi, che riporteremo nei seguenti paragrafi, lo proveranno. Basta del resto il riflettere in proposito, come i fanghi deposti dalle acque, che noi chiamiamo communemente argille, risultano dal finissimo detrito in sospensione, risultante alla sua volta dalla macinazione di rocce d'ogni specie, e specialmente dalla decomposizione o dalla triturazione de' feldspati, minerali di composizione così varia e complicata. Vari e complicati devono essere adunque anche i prodotti metamorfici che ne risultano, come abbiam dimostrato, in via di principio, nel cap. XXIII, e specialmente nel § 956, del quale i seguenti non sono che lo sviluppo e l'applicazione in via pratica. Avvenga il metamorfismo o per *automineralizzazione* o per *mutua mineralizzazione*, avremo sempre dei prodotti, in cui la varietà e la complicazione

Digitized by Google

saranno proporzionate alla varietà e alla complicazione tanto degli elementi componenti ciascun deposito, quanto di quelli che compongono i diversi depositi associati.

1014. Fermi questi principî, sapremo intendere le deduzioni che il Bischof ne trasse in via pratica, e generalizzarli in guisa da comprendervi ogni caso possibile, quando ci sentissimo in grado di far progredire la scienza su questa via, tentando nuove applicazioni.

Cominciamo ora a vedere come gli schisti possono essere la radice di tutte le combinazioni, da cui hanno origine le rocce cristalline, non eruttive.

1015. *Schisti argillosi* (Thonschiefer). — Parlando a suo luogo degli *schisti* (*Parte seconda*, § 253), accennammo alle profonde incertezze che regnano circa l'origine e la natura mineralogica di quelle rocce, che presentano enorme sviluppo, principalmente nei terreni antichi, e che gli autori indicano coi nomi, più o meno convenzionali e insignificanti, di schisti *argillosi*, *tegulari*, *ardesiaci*, *filladici*, ecc. Nessuno dubita però della loro origine sedimentare. La decisa stratificazione, la presenza, anzi l'abbondanza, dei fossili in certi gruppi, depone per l'origine sedimentare anche degli altri gruppi, in cui fossili non si rinvennero. In genere i geologi sono d'accordo nel riconoscervi antichi fanghi marini, cioè depositi del più tenue detrito, di quello stesso detrito, che formò, nei terreni più recenti, le marne, gli schisti marnosi, le argille, e nei mari attuali forma il limo, o le marine fanghiglie. Se i conglomerati e i grès degli antichi terreni accennano, col loro ingente sviluppo, a un immenso processo di demolizione e rappresentano le antiche ghiaje e le antiche sabbie; non resta agli schisti che di affermare, col loro sviluppo del pari ingente, lo stesso processo di demolizione nelle epoche più remote o a rappresentare i più antichi fanghi. L'*induramento maggiore, la più decisa schistosità* e sopratutto l'*indole cristallina*, per cui si distaccano dai depositi d'identica origine, ma d'età più recente, trovano ragione in quel multiforme metamorfismo a cui siamo ormai famigliari.

1016. Se gli schisti sono antichi fanghi, non può aspettarsene che assai varia la composizione. Il detrito delle rocce tutte, e specialmente di alcuni silicati, tanto alluminosi, come i feldspati, quanto magnesiaci, come i talchi e i serpentini, può convertirsi in fango, quindi in schisto. Ma sarà sempre assai difficile il definire la natura mineralogica di tali schisti. Essendo le particelle componenti ridotte sovente alla finezza, direbbesi, dell'atomo; anche l'analisi microscopica non conclude a nulla. Le particelle più facili a distinguersi sono le lamelle di aspetto micaceo, ma che difficilmente poi si sanno riferire piuttosto al mica, che al talco. Le più sicure conclusioni bisogna derivarle quindi dalla analisi chimica. Il numero delle analisi degli schisti (*Thonschiefer*) somma almeno a 80, dice Bischof, il quale ne trascrive una decina, sciegliendo quelle che contengono i massimi ed i minimi. (*Lehrb.*, III, pag. 104). Esse confermano la derivazione degli schisti in genere dalla decomposizione delle rocce silicate più communi, come si può dedurre dal seguente specchio, che presenta le sostanze, le quali si trovano tutte, quasi invariabilmente, associate negli schisti, coi relativi massimi e minimi in centesimi, dedotti dalle 10 analisi riportate da Bischof.

Acido silicico	da	39,9	a	78,00
Allumina	»	9,73	»	36,01
Ferro ossidulato	»	2,68	»	11,58
Calce	»	0,39	»	13,72
Magnesia	»	0,69	»	11,71
Potassa	»	0,20	»	7,21

Soda	» 0,4 »	5,90
Acqua	» 1,07 »	5,43

Faccio notare come le argille, anche le più recenti, presentano gli identici componenti degli schisti più antichi: ben inteso scegliendo fra questi, per paragonarli colle vere argille, quelli in cui abbonda l'allumina, e scarseggia la magnesia. Non mancano però, anche nelle formazioni più recenti, per esempio nell' Appennino, delle masse, che si direbbero, all'aspetto, argille, mentre han l'aria di essere composte di silicati magnesiaci, offrendo così un corrispondente agli antichi schisti, più carichi di magnesia.

1017. Osservando, come nella composizione degli schisti entrino, in diverse proporzioni, quegli elementi, di cui si compongono tanti minerali diversi, fra cui i più comuni costituenti delle rocce cristalline; e richiamando gli esperimenti sulla virtù dell' acqua riscaldata e compressa: non ci sembrerà più inesplicabile il fatto, che strati di origine affatto sedimentare, affettino più meno l'aspetto cristallino. Il quarzo, il feldspato, il ferro spatico, vi si vedono talora disseminati in minutissimi cristalli, sotto forma di finissimo intreccio. Il quarzo puro, che riempie le vene, di cui talora sono reticulati gli schisti, o ne tapezza le druse, è spia di quel processo metamorfico, per cui si formarono diversi minerali, rimanendo libero una parte dell'acido silicico, che si trova ordinariamente in eccesso negli schisti.

Nè fa meraviglia che in seno agli schisti si formino, anche per un semplice processo di automineralizzazione, quei minerali, che sono composti degli elementi stessi, i quali si trovano associati negli schisti. I granati, di cui sono disseminati gli schisti liasici del Lucomagno, fino al punto di simulare una roccia porfiroide, e il talco, che si sostituisce ai vegetali negli schisti carboniferi della Tarantasia, non esigono altro che il supposto di strati argillosi ricchi di allumina i primi, e di magnesia il secondo. Così, arricchendosi di minerali, risultanti dalla combinazione degli elementi proprî degli schisti, o importativi dalle acque, che li andò ad attingere nelle rocce associate, diverranno essi schisti sempre più cristallini, fino all' intera trasformazione della massa, fino a divenire un *micaschisto*, o altra delle rocce, di cui passiamo a trattare.

1018. *Micaschisti.* — Il micaschisto colle sue infinite varietà, costituisce uno dei membri delle antiche formazioni, che gode d'uno sviluppo veramente mondiale. Presenta sempre l'aspetto di una roccia stratificata; ma al tempo stesso, essendo estremamente schistoso, non si saprebbe decidere con sicurezza se trattisi di vera stratificazione sedimentare, o di quella stratificazione, che è semplicemente simulata dalla schistosità prodotta dalla compressione. Io per me sono d'avviso che la stratificazione si tiene mascherata sotto la schistosità, la quale ha assolutamente la prevalenza. Infatti non c'è roccia, che meglio dei micaschisti presenti i caratteri di una roccia, la cui plasticità si sviluppò immensamente sotto la compressione. Generalmente gli strati di micaschisto sono ondulati, pieghettati, accartocciati, contorti, e mostrano quel lustro, e quella flessuosità, che accusano una vera laminazione. Come le belemniti negli schisti delle Alpi, così i granati nei micaschisti formano quei rigonfiamenti che mostrano ad evidenza d'aver resistito, come corpi più duri, alla laminazione, che comprimeva la pasta più molle.

1019. Modificando quanto abbiam detto circa la composizione del micaschisto (*Parte seconda*, § 203) non consideriamo, con Bischof, come veri micaschisti se non quelli che sono puramente composti di quarzo e di mica. Quando vi figuri il feldspato come

altro dei componenti, ci vedremmo un gneis. Il feldspato non figura nei micaschisti che come minerale accessorio, del pari che la tormalina, la staurotide, la cianite, l'andalusite, lo smeraldo, la chiastolite, l'ornehlenda, la clorite, il talco, la cordierite, la grafite.

Il modo di associazione del quarzo e del mica presenta un numero infinito di varietà. Talora i due elementi sono commisti in guisa, da formare un impasto abbastanza omogeneo: più spesso sono distinti; il quarzo in grani, il mica in gruppi laminari; l'uno e l'altro talora in strisce, e anche in veri straterelli alternanti.

Le analisi chimiche dei micaschisti si può dire che si riducono a quelle dei mica, si possono cioè distinguere in magnesiaci e non, o piuttosto assai debolmente, magnesiaci. Lo specchio presente dei massimi e dei minimi è preso da 12 analisi riportate da Bischof.

Selce	da	48,72	a	82,38
Allumina	»	6,3	»	26,69
Ossido di ferro	»	0,00	»	19,72
Ferro ossidulato	»	0,00	»	6,54
Calce	»	0,00	»	4,90
Magnesia	»	0,27	»	10,99
Potassa	»	0,83	»	5,55
Soda	»	0,36	»	4,02

1020. Il modo di disposizione dei due elementi allontana l'idea che il micaschisto sia una roccia eruttiva, presentando tutt'altro che un magma cristallino, granuloso. Al tempo stesso non si troverebbe tra gli attuali sedimenti nulla, che potesse paragonarsi ad un micaschisto. Da lungo tempo i geologi si abituarono a considerare il micaschisto come roccia metamorfica; ben inteso senza domandarsi, nè quale fosse la roccia sedimentare così metamorfosata, nè quale il processo di tale metaforfismo. Noi consideriamo il micaschisto come derivante, per metamorfismo regionale più avanzato, dagli schisti argillosi, secondo le idee di Bischof. Gli schisti argillosi, come abbiam detto, rappresentano un metamorfismo di primo grado, cioè una modificazione di sedimenti fangosi. I micaschisti rappresentano un metamorfismo di secondo grado, cioè la conversione degli stessi schisti argillosi, in roccia decisamente cristallina.

Primieramente fu da tutti i geologi rimarcato, come tra gli schisti detti argillosi, ardesiaci, filladici, subcristallini, e gli schisti micacei e i micaschisti, esistono così insensibili transizioni, che le descrizioni e la nomenclatura di quegli antichi gruppi schistosi risentono sempre di quell'indeterminato, di quell'indefinito, che accusa l'impossibilità di segnare un limite tra le diverse rocce, che si vogliono distinguere con diversi nomi. Quando una serie sovrapposta di feudi fangosi debba, per lento e diuturno processo chimico a spese de' suoi componenti, trasformarsi in una roccia eminentemente cristallina; è naturale che debba presentare una serie indefinita di transizioni, come indefiniti sono i momenti di un processo metamorfico. Ma tale graduata, lentissima trasformazione, come si opera? si opera veramente in guisa che da uno schisto argilloso debba sortirne un micaschisto?

1021. Gli schisti argillosi, osserva Bischof, rappresentano elementarmente una massa feldspatica. Le analisi di essi schisti (§ 1016), principalmente di quelli ricchi di allumina, lo attestano. Ora la trasformazione del feldspato in mica, si compie indubbia-

Digitized by Google

mente in natura; e lo attestano le pseudomorfosi abbastanza frequenti. Bischof cita parecchi esempî, in cui il mica si presenta sotto le forme del feldspato (*Lehrb.*, II, pag. 737); segno dunque che si è sostituito al feldspato. Che trattisi poi di una vera trasformazione, non di una semplice sostituzione, ce ne persuaderemo facilmente considerando come, con lievi sottrazioni ed addizioni, il feldspato può convertirsi in mica.

Credo fecondissimo di riflessi persuadenti in proposito lo specchio offerto da Bischof (*Lehrb.*, II, pag. 742), in cui sono messe in confronto le composizioni normali del feldspato e del mica, agginntevi, per ciascun componente, la quantità da sottrarsi o da aggiungersi, perchè le formole dei due minerali divengano uguali.

	Feldspato				Mica
Selce	65,21	—	10,03	=	55,18
Allumina	18,13	+	1,74	=	19,87
Ossido di ferro . . .	——	+	13,30	=	13,30
Alcali	16,66	—	9,44	=	7,22
Calce	——	+	1,18	=	1,18
Magnesia	——	+	0,17	=	0,17

1022. Rileviamo dapprima dallo specchio precedente, come la trasformazione del feldspato in mica non possa avvenire, senza che rimanga libera una quantità considerevole di acido silicico; il che si concilia perfettamente col fatto della grande abbondanza di quarzo libero, caratteristico de micaschisti. I tre elementi che vengono aggiunti, per formare il mica, se non trovansi nel feldspato, si incontrano però invariabilmente, e talora in proporzioni molto considerevoli, negli schisti argillosi (§ 1016), salvo che il ferro si trova negli schisti allo stato di ferro ossidulato. Quanto alla parte degli alcali, che rimane libera, questa può, dice Bischof, entrar in combinazione colla selce, e costituire quei silicati, i quali si trovano così spesso disseminati nella roccia, come minerali accessori. Lo schisto argilloso, per trasformarsi in micaschisto, non ha bisogno di cercare, altrove che in sè stesso, gli elementi della propria trasformazione trovando del resto nell'acqua circolante, sotto alta temperatura e pressione, l'agente trasformatore.

1023. *Cloritoschisti.* — Un'altra metamorfosi degli schisti argillosi (*Thonschiefer*) è, secondo Bischof, rappresentata dagli schisti cloritici, o cloritoschisti. Anch'essi appartengono alla grande formazione degli schisti antichi, e presentano talora considerevole sviluppo. Le Alpi del Tirolo, il gruppo del San Gottardo, la Scozia, gli Urali, il Massachussets, ecc., sono regioni classiche per lo sviluppo di tale forma litologica. Anch'essi, come i micaschisti, presentano masse distintamente schistose, piuttosto che stratificate. Talora constano di un vero ammasso di lamelle di clorite; spesso invece la clorite si associa al quarzo ed all'oligoclasio (Bischof, *Lehrb.*, ecc., III, pag. 224). La composizione chimica si riduce, con pochi accessori, a quella delle cloriti, la cui composizione però, come abbiam visto (*Parte seconda*, § 112), è estremamente varia.

1024. Quale concetto, dobbiamo formarci dell'origine dei cloritoschisti? Bischof, come premisi, vi ravvisa un altro modo di trasformazione degli schisti argillosi. Figurerebbero come un intermezzo tra gli schisti argillosi e i micaschisti: ben inteso che, tra gli schisti argillosi, di cui è così varia la composizione, si abbiano da scegliere quelli, che si prestano maggiormente ad una simile trasformazione. Anche qui, come ci si fece osservare pei micaschisti, la trasformazione può aver luogo con

Digitized by Google

non considerevolissime addizioni o sottrazioni. Valga in prova il seguente specchio comparativo delle due rocce, presentatoci da Bischof.

	Schisto argill. (Thonschiefer)		Cloritoschisto	
	Massimo	Minimo	Massimo	Minimo
Acido silicico . .	70,00	46,5	42,08	41,54
Allumina . . .	36,01	9,73	19,81	3,51
Ossido di ferro	14,04	2,68	10,18	0,00
Ferro ossidulato			26,85	0,00
Magnesia . . .	11,71	0,00	41,54	12,01

1025. Non seguiremo l'autore in quella serie di ragionamenti, coi quali si ingegna di dar ragione, in via puramente chimica, di tali addizioni e sottrazioni. Ci basta di aver dato un' idea di questo, che noi diremmo nuovo ordine di argomentazioni, parlando de'micaschisti: chè non ci è permesso dagli angusti limiti di quest' opera altro, che di sfiorare leggerissimamente quelle indagini e quelle osservazioni, di cui sono pieni tre fitti volumi, di quasi 1000 pagine ciascuno, di un'opera tutto analitica. Faremo luogo soltanto agli argomenti più accessibili, e d'ordine geologico.

Anche la clorite presenta diversi casi di pseudomorfosi. Bischof cita quelle del quarzo, dello spato fluore, dello spato calcareo, del ferro magnetico, e, ciò che più importa, del feldspato (*Lehrb.*, II, pag. 415 e 763). Gli schisti adunque che contengono, come d'ordinario, quarzo, carbonato di calce, feldspato, possono divenire cloritici, per trasformazione di questi minerali in clorite. Un caso indubbio della produzione della clorite, per trasformazione, ci è mostrato da Blum, citato da Bischof, nei vegetali del *Todtliegende* (permiano) di Zwickau in Sassonia, convertiti in clorite. Uno studio, sotto questo punto di vista, dei minerali del San Gottardo, ove si vede ovunque la clorite associarsi, immedesimarsi coi minerali, per cui è celebre quella regione, offrirebbe larga messe di fatti analoghi.

1026. Tutti i geologi hanno poi notato, per gli schisti cloritici, quello che notarono pei micaschisti, e per tutte le indefinibili transizioni dell' immenso gruppo degli antichi schisti. Spesso lo schisto argilloso si arricchisce di clorite; nel tempo che lo schisto cloritico si impregna di mica: per cui, se è difficile il fissare i limiti, come dicemme, tra gli schisti argillosi e i micaschisti; e questi e quelli possono talora difficilmente scevrarsi dei cloritoschisti. Bischof cita, come assai decisive in proposito, le osservazioni di A. Knop sul distretto a schisti di Chemnitz in Sassonia. Lo schisto cloritico vi si vede spesso passare, da una parte allo schisto argilloso, dall' altra al micaschisto. I trappassi da ambedue le parti sono così insensibili, che riesce impossibile cogliere i limiti fra le diverse forme.

1027. *Talcoschisti.* — Ritenuta la trasformazione degli schisti argillosi in micaschisto e in cloritoschisto, non sembrerà meno amissibile la loro metamorfosi in talcoschisto, sostenuta da Bischof cogli stessi plausibili argomenti.

Più volte, come nel granito, così nei micaschisti, il talco si sostituisce o si associa al mica. Ma nei veri talcoschisti, dice Bischof, di rado si incontra il quarzo, consistendo la roccia in una massa schistosa di talco, a cui si aggiungono, come accessorî, il ferro magnetico, l'oligisto, i minerali stessi accidentali del micaschisto.

1028. L'analisi chimica offre ancora gli elementi degli schisti argillosi, notandosi solo lo spiccato predominio della magnesia.

Ecco uno specchio dei massimi e dei minimi, dedotta da sei analisi riportate da Bischof (*Lehrb.* III. pag. 236).

Acido silicico	da	51, 62	a	58, 66
Allumina	»	4, 43	»	12, 30
Ferro ossidato e ossidulato . .	»	1, 88	»	9, 45
Calce	»	0, 00	»	1, 51
Magnesia	»	22, 78	»	33, 04
Acqua	»	0, 00	»	6, 07

1029. Il fatto che il quarzo di raro si incontra nei talcoschisti, mentre si trova così facilmente negli schisti argillosi, nel cloritoschisto, e forma un costitutivo dei micaschisti, è eminentemente favorevole all'opinione che vede nel talcoschisto una trasformazione degli schisti argillosi, e forse dei cloritoschisti e dei micaschisti. Infatti la quantità di selce libera, che figura negli altri schisti, deve essere tutta, supposta la trasformazione, assorbita, perchè ne nasca il silicato di magnesia, cioè il talco. Anzi la quantità di magnesia, che risulta da alcune analisi, è tanta, che non vi sarebbe copia corrispondente di acido silico; per cui bisogna ritenere, dice Bischof, che parte della magnesia entri a formare altri silicati, meno del talco esigenti di acido silicico. È calcolato, per esempio, che il *maximum* di magnesia di 33,04 per 100 rilevate dalle analisi, esigerebbe 63, 63 di acido silicico, per convertirsi in talco; quantità che eccede di molto il *maximum* dell'acido silicico, 58, 66, fissato dalle stesse analisi. Infine il talcoschisto si sarebbe formato colla conversione degli schisti più ricchi di magnesia, col rimanere assorbita la selce dalla magnesia, e quindi colla formazione del talco.

1030. Una difficoltà, preveduta da Bischof, incontra questa teoria nel fatto, che il *maximum* di magnesia, 11, 71 per 100, dato dalle analisi degli schisti argillosi, non ugnaglia nemmeno il *minimum* di magnesia, 22, 78, che risulta dalle analisi dei talcoschisti. Rispondo a questa difficoltà con ciò, che può valere di risposta a quante simili obiezioni si possano per avventura levare anche contro la sostenuta conversione degli altri schisti. Le analisi dei così detti schisti argillosi, per quante numerose, sono pochissime in confronto dello sviluppo, della universalità, e delle infinite varietà di essi schisti. Non è certo attendere troppo dai futuri studî, il credere che si incontreranno schisti ancora più ricchi di magnesia, di quelli già analizzati: il credere che in genere le future analisi riveleranno composizioni che rendano più agevole, più ovvio il dar ragione della loro conversione, piuttosto in cloritoschisto, che in micaschisto, o in talcoschisto, o in una piuttosto che in altra delle loro infinite varietà.

1031. Prego anche a riflettere come noi troviamo già avvenuto questo mondo di metamorfosi, e dobbiamo, per via di raffronti, di analogie, di esperienze, trovare dapprima che sono avvenute, poi indovinare il perchè avvennero. È però indubitato che le conversioni sono avvenute, quando si verificavano le condizioni delle conversioni stesse. Ma appunto perciò difficilmente ci restano da osservare nello stato normale, o nello stadio di metamorfismo incipiente, quelle masse che offrivano le migliori condizioni di una completa conversione. Troveremo quindi difficilmente uno schisto che contenga da 22 a 33 per 100 di magnesia, appunto perchè, se esisteva, dovette convertirsi in talcoschisto. Quando poi si guarda a certi distretti, segnalati pel grande sviluppo di rocce magnesiache, serpentini, pietre ollari, steatiti, ecc., come lo sono le Alpi tra Chiavenna e la Valtellina, e l'Appennino in diverse parti; si vedrà come

la formazione di fanghi magnesiaci, convertibili dapprima in schisto magnesiaco, poi in talcoschisto, debba ammettersi, non solo come possibile, ma come necessaria.

1032. *Schisti amfibolici.* — Gli schisti amfibolici, o ornehlendici, così sviluppati ovunque, e principalmente nelle Alpi, sono, come i micaschisti, e le rocce schistose qui considerate, da ripetersi dal metamorfismo degli schisti argillosi. Bischof lo prova allo stesso modo che per le rocce precedenti. Nella immensa famiglia degli schisti argillosi ne esistono di quelli, che contengono in copia considerevole la calce, la magnesia, l'ossido di ferro e il ferro ossidulato, che sono i componenti degli amfiboli. Del resto quando si osservano quegli stupendi schisti amfibolici, che si incontrano sulla via da Airolo al San Gottardo, dove l'amfibolo quasi si injetta, radiando a fasci di finissimi raggi da mille centri di cristallizzazione; chi non crederebbe di assistere all'atto di quel processo chimico, per cui le molecole, costituenti una massa amorfa, si trovano, si attraggono, si dispongono, quasi fossero libere entro un liquido, al modo stesso con cui le molecole di un rigidissimo asse di ferro sono libere di unirsi in cristalli, sotto il misterioso influsso, messo in giuoco dall'azione meccanica (*Parte seconda*, § 23).

1033. *Gneiss.* — La roccia che io confesso per me più problematica è il gneiss. Dotati di una decisa ubiquità, come i graniti e i micaschisti, i gneiss si accostano per natura agli uni e agli altri, vantando specialmente l'identica composizione dei primi, e la schistosità dei secondi. Per rapporto alla loro giacitura essi si trovano pure in intimi rapporti coi graniti, come coi micaschisti, coi talcoschisti, cogli schisti argillosi, ecc., costituendo uno dei più sviluppati e dei più costanti membri della zona cristallina basilare. Quale è dunque l'origine di questa roccia?

1034. I geologi in genere non dubitano di annoverare i gneiss tra le *rocce metamorfiche*, e Bischof vi scorge un'altra trasformazione degli schisti detti argillosi. Primieramente egli osserva come il gneiss formi la base dei terreni a schisti, e cita come classica la formazione schistosa di Mähren, ove sul gneiss, che ne costituisce il fondamento, riposa il micaschisto, sopportando alla sua volta lo schisto argilloso, senza che nessun deciso confine si possa segnare tra le diverse forme litologiche (*Lehrb.* III, pag. 239). L'accennata giacitura del gneiss si ritiene, ed è fors' anche, la più normale. Ma non è certo invariabile. Nelle Alpi le rocce ascritte al gneiss si mostrano associate agli altri schisti, senza che le si possa assegnare una sede fissa. In Valsassina, sopra Bellano, per esempio, il gneiss soggiace immediatamente alle arenarie variegate del trias, e ricopre quindi la gran formazione de' micaschisti della regione settentrionale del lago di Como.

1035. Bischof si appoggia in secondo luogo alla composizione chimica. Essa ci rivela infatti quegli stessi elementi che si prestano alle già ammesse trasformazioni degli schisti argillosi in schisti cristallini. La seguente tabella dei minimi e dei massimi è tolta da Bischof, e desunta da 41 analisi.

		Minima		Massima
Acido silicico	da	58,98	a	76,55
Allumina	»	10,83	»	21,14
Ferro ossidato e ossidulato.	»	0,85	»	9,49
Manganese ossidulato . .	»	0,00	»	0,58
Calce	»	0,23	»	5,65
Magnesia.	»	0,12	»	2,65

Digitized by Google

Potassa	»	0,65 »	5,29
Soda	»	0,46 »	4,00
Acqua	»	0,00 »	4,11

Confrontando le analisi dei gneiss con quelle degli schisti argillosi, non si può negare che militano per la trasformazione di questi in quelli, quelle stesse ragioni, più o meno, che ci fecero accettare l'idea della trasformazione degli stessi schisti argillosi in micaschisti, cloritoschisti, ecc. — Io non so tuttavia indurmi ad accettare l'ipotesi di Bischof, e inclino invece a ritenere, certo non solo in tale pensamento, l'origine eruttiva del gneiss.

1036. Anzi tutto io non posso non dare importanza al fatto della identità di composizione, che si verifica tra i gneiss e i graniti; più a quelle graduate transizioni di struttura, per cui il granito più granuloso e massiccio si lega al gneiss più schistoso (*Parte seconda*, § 202). Chiunque sia famigliare colle Alpi, o dirò meglio a qualunque delle grandi regioni granitiche del globo, sarà conscio a sè stesso d'aver dovuto più volte tenzonare tra il si e il no, pensando se dovesse classificare come granito, piuttosto che come gneiss, la roccia che si aveva sott' occhi. Chi ha deciso, per esempio, se la roccia del passaggio del San Gottardo sia da chiamarsi granito, piuttosto che gneiss? Gli scritti dei geologi sono del resto una continua conferma di ciò che qui si asserisce. Badisi che in questa questione io mi limito a considerare l'origine del *vero gneiss*, lasciando da parte, per ora, tutti quei gneiss, che si confondono, per esempio, coi micaschisti, i quali lo sono e non lo sono second o il diverso beneplacito dei classificatori. Poichè tutti sanno che nel linguaggio dei geologi, principalmente nel linguaggio parlato, a preferenza dello scritto vi sono sempre dei graniti e dei *veri graniti*, dei gneiss e dei *veri gneiss*, dei micaschisti e dei *veri micaschisti*. Ora il vero gneiss è costituito dagli stessi minerali del granito. Scheerer, citato da Bischof (*Lehrb.* III, pag. 239), dietro le analisi di Richter e di Rube, indica come normali il gneiss grigio e il rosso dell'Erzgebirge.

Il primo contiene 45 % di quarzo, 45 di ortoclase, 10 di mica: il secondo 30 % di quarzo, 60 di feldspato, 10 di mica.

A ritenere il gneiss non distinto dal granito, che per sola accidentalità di struttura, mi confortano altre considerazioni.

1037. Da lungo tempo mi ha profondamente colpito il fatto, che ad ogni roccia plutonica, massiccia, corrisponde una roccia schistosa di identica natura mineralogica, solo differenziata appunto dalla schistosità e da una apparente stratificazione. Nelle Alpi il fatto acquista la maggiore evidenza; e siccome la litologia descrittiva delle località da me non studiate, mi va sempre riproducendo allo sguardo la litologia delle Alpi, credo che il fatto si faccia ovunque manifesto. Ai graniti fini o porfiroidi, grigi, rossi, verdi, rispondono nelle Alpi degli gneiss o fini o porfiroidi, grigi, rossi o verdi: alle dioriti, ai porfidi amfibolici, così multiformi nelle Alpi, rispondono i gneiss amfibolici d'ogni foggia. Il protogino del M. Bianco offre così sovente la struttura del gneiss, che non si ha difficoltà a considerarlo come gneiss talcoso. E come nei graniti si trovano talora associati, o sostituiti, al mica, il talco, la clorite, l'ornebleuda: così avviene nel gneiss. Abbiamo nelle Alpi enormi masse di serpentino e ci abbiamo in pari tempo enormi masse di schisti serpentinosi; e così via via si viene fino alle lave recenti, che offrono varietà massicce e varietà schistose, come le fonoliti e altre rocce trappiche, che acquistarono la struttura fissile a segno, da essere impiegate come ardesie. Le rocce massicce non si distinguono dalle schistose che

Digitized by Google

per una diversità di struttura. Il gneiss non si distingue dal granito, che come si distinguerebbe la ghisa dal ferro laminato. Con tanta essenzialità di caratteri naturali, e con tanta accidentalità di struttura, come è egli possibile distinguere sostanzialmente le rocce massicce delle corrispondenti schistose? Vorrei dedurre da tutto questo, non essere affatto assurdo il pensare, che il gneiss rappresenti la forma schistosa del granito.

1038. Ma, si dirà, il gneiss, se si avvicina da una parte al granito, fino a identificarsi con lui; si approssima dall'altra ai micaschisti, fino a confondersi con essi. Vi ha quindi pari ragionė per ritenere il gneiss metamorfico, come per ritenerlo eruttivo: quando non torni meglio di accomodare il tutto, ritenendo d'origine metamorfica anche il granito. Escludo tosto, e risolutamente quest'ultima proposta, perchè il granito è dimostrato eruttivo, precisamente come può dimostrarsi eruttiva una lava, che esca oggi da un vulcano. Quanto alla somiglianza col micaschisto essa è grande; è tale che praticamente non è sempre facile il distinguere una roccia dall'altra. Ma altro è parlar di somiglianza, altro è parlar di identità. Tra il gneiss tipico e il granito vi ha vera identità di composizione mineralogica; non così trai gneiss e i micaschisti. Il feldspato, quando esiste ne' micaschisti, vi figura come accessorio: nei gneiss invece entra come costitutivo. Nè è poca differenza; poichè, secondo le idee di Bischof da noi adottate, i micaschisti, i cloritoschisti, gli schisti cristallini, provengono in genere dalla trasformazione del feldspato, o meglio di una massa feldspatica, cioè di feldspato trito, e come diluito con altri minerali in un impasto finissimo. Qui invece il feldspato si conserva distinto, in grossi cristalli, allo stato normale. Questo carattere avvicina il gneiss, non solo al granito, ma quasi a tutte le rocce eruttive, e lo allontana da tutti gli schisti d'origine metamorfica.

1039. Contro l'origine eruttiva del gneiss si eleva anche il fatto, non so quanto bene cerziorato, che esso non presenta casi di metamorfismo di contatto. Ma non abbiamo noi visto come il metamorfismo di contatto spesso è di qualche centimetro, anche nullo, e sempre ristretto entro angusti confini (§ 803-806)? Io vorrei che l'argomento fosse studiato un po'meglio; tanto più che, ripeto, tra i gneiss, che si dicono non aver prodotto metamorfismo di contatto, e i graniti, che ne offrono tanti esempi, (§ 57), non si potè mai segnare un limite.

1040. Prescindendo del resto dal metamorfismo di contatto, se stiamo a quanto Naumann raccolse da diversi autori (*Lehrb.*, II, pag. 106), il gneiss, benchè assai più di rado del granito, presenta tutti quegli altri accidenti che caratterizzano una roccia eruttiva. Si negò che il gneiss si presentasse in filoni: eppure Cotta ci descrive il gneiss di Freiberg, come traforato da filoni distintissimi d'un gneiss diverso. Humboldt vide ad Antimano, nella Venezuela, il micaschisto traforato da dicchi di gneiss, dello spessore di 30 a 48 piedi. Fournet finalmente ci reca molti esempi di gneiss eruttivi, in forma di dicchi, nei gneiss e in altre rocce. Nè manca al gneiss la caratteristica dei frammenti interclusi di altre rocce. Lo stesso Naumann osservò, presso Reisäter in Norvegia, un gneiss, che include frammenti di schisti amfibolici (Grünsteinschiefer) in masse parallelepipede o d'altre forme. Cotta distinse in più luoghi i frammenti del gneiss grigio nel gneiss rosso dell'Erzgebirge, e Bocthlingk pezzi di gneiss orneblendico nei gneiss micacei di Helsingfors in Finlandia. Darwin poi dice d'aver osservato nel gneiss granitico di Bahia dei massi di una roccia amfibolica. Essi sono veri frammenti interclusi, angolosi, a spigoli decisi, e tanto che, attorno a quei frantumi, si addattano i fogli paralleli del gneiss. Non manca forse nemmeno al gneiss una forma così rara nelle rocce eruttive antiche, quella di tufo, di detrito vul-

canico. Brecce gneissiche si scopersero ad ogni modo a Rauenstein in Sassonia, e altrove. Keilau osservò nel gneiss presso Kongsberg una breccia di gneiss, con cemento pure di gneiss, e altrove un conglomerato di grossi e piccoli frammenti di gneiss nel gneiss. Non lungi da Messina, Hoffmann osservò inclusi nel gneiss, in quantità grande, pezzi di quarzo ad angoli smussati, e frammenti di schisto argilloso, in guisa da non potersi dubitare della loro origine frammentizia.

1041. Ma quale è la ragione della apparente stratificazione e della schistosità dei gneiss? Ho detto della apparente stratificazione, perchè non presentano veri strati, che si possano distinguere, individuare. Trattasi sempre di un mero clivaggio schistoso, talmente che, anche quando fosse dimostrato essere i gneiss sedimentari, io riterrei, come ritengo per gli schisti cristallini, che la stratificazione fu obliterata, sostituita dalla schistosità.

Per Scrope i gneiss non sono che le porzioni laterali delle masse granitiche, laminate, pieghettate nell'atto che il magma granitico interno sospingeva la crosta del globo, per formarne un rilievo (*Les volcans*, pag. 283). Dopo la teorica che abbiamo adottato circa il modo delle rotture della crosta del globo e del sollevamento delle montagne; dopo aver ammesso che i graniti sono eruttivi, e formano dicchi e espandimenti, come tutte le lave di tutti i tempi; l'idea dello Scrope non è nemmeno discutibile. Ammettiamo, come abbiamo già ammesso, che, nel momento in cui una massa eruttiva attraversa la crosta spezzata del globo, senta fortemente l'attrito laterale, di cui rimangono gli indizî nel trituramento dei cristalli, e anche nella schistosità, per stiramento, alle salbande de' dicchi. Ma che ci ha a fare tutto questo colle enormi masse di gneiss isolato, spesso affatto indipendenti dai graniti, formanti da sè così gran parte della gran zona basilare, associati e alternanti con calcari, come nel *laurenziano* d'America?

Nella apparente stratificazione, ossia nella schistosità de' gneiss, io non vedo che un caso semplicissimo, naturalissimo, di metamorfismo meccanico, un esempio di laminazione a grande scala. Quanto abbiamo dimostrato in via di principio, nel capitolo XXI, è applicabile, anzi per eccellenza applicabile, ai gneiss. Quella forza di compressione, che tutta laminò una zona basilare dello spessore di 10, di 15, chilometri, avrebbe potuto risparmiare gli antichissimi espandimenti granitici, che venivano alternando co' sedimenti su que' primitivi fondi? E un granito laminato altro non sarebbe che un gneiss. Il gneiss infine non è altra cosa, per me, che un granito laminato.

Digitized by Google

CONCLUSIONE DELL' OPERA.

Eccoci al termine dal cammino che ci eravamo prefisso. Se si possa dire ugualmente che abbiamo raggiunta la meta, io non saprei. Sembrami però di non aver forviato da quel sentiero logico che vi ci doveva condurre.

L'oggetto dei nostri studî, l'oggetto della geologia, era la *storia della terra.* Noi dovevamo arrivare coll'induzione a conoscere ciò che si sottrae al dominio della nostra esperienza, perchè appartiene al passato; ad un passato, che si dilunga le migliaja e le migliaja di secoli, non solo dalle origini della storia, ma dalle origini dell'uomo. L'unica via razionale, abbiamo detto, pigliando le mosse, è lo studio di quelle forze, che attualmente governano il globo, e la cui azione si traduce in fatti permanenti, i quali possono venir osservati anche da chi giunga sul campo dell'azione, quando l'azione è già, forse da secoli, consumata. Ragionando dall'effetto alla causa, ci tenevamo sicuri di potere, a tutto rigore di logica, dedurre dal presente il passato, dalle rivoluzioni che si compiono sotto i nostri occhi, quelle di cui s'intesse la storia antichissima del globo.

La *dinamica terrestre* doveva dapprima schierarci sul campo d'azione gli agenti modificatori, che lavorano al continuo rimutamento del globo; mostrarci, nella serie infinita de'fenomeni che rendono così animata questa scena del globo, le orme che essi segnano del loro passaggio.

Considerato dapprima il globo come pianeta, cioè come soggetto alle leggi che governano l'universo degli astri, e visto quali forze cosmiche si sviluppino in presenza delle materie, di cui gli astri, come la terra, sono composti; ci raccogliemmo sulla terra stessa, come in parziale teatro, ove quei cosmici agenti si esercitano. Due gruppi di forze mantengono sul globo quel moto continuo di rivoluzione esterna ed interna, per cui di continuo tutto si rimuta, non alla superfice soltanto, ma nelle ime latebre, nei più oscuri recessi degli atomi. Sono le forze *esogene* e *endogene.*

Cominciando dalle esogene, vedemmo dapprima il globo involto in una atmosfera, mobile, oceano circolante, che, nelle volubili spire, travolge i vapori e il calore, li distribuisce, deputato alla irrigazione ed al riscaldamento di quella superficie, a cui è legata la vita delle piante e degli animali. Ammirammo quel sistema di solidarietà tra l'atmosfera e il globo che essa recinge; per cui non vi può essere alcun mutamento in questo, senza che non se ne risenta tutto il sistema di quella. Ne consegue che

Digitized by Google

i climi, quindi le flore e le faune, non possono non risentirsi di qualunque modificazione soffra in qualunque punto la superficie del globo. Così l'atmosfera si presenta come primo e più universale agente modificatore fisico, chimico, meccanico, fisiologico. Sotto la sua azione le rocce si decompongono, le montagne si squamano, i continenti si sfasciano. Se non esistesse un sistema di riparazione, i continenti sarebbero alla fine disfatti, e la terra asciutta scomparirebbe in seno al mare.

Le acque, generate in seno all'atmosfera, e deposte sulla superfice della terra, costituiscono il secondo agente modificatore del globo. L'acqua, cadendo dall'atmosfera, origina le correnti, la cui azione è principalmente meccanica. Le correnti rodono anch'esse la faccia de' continenti, e seco travolgono il mobile detrito, continuando così il lavoro di demolizione intrapreso dall'atmosfera. Dal ruscello, che trasporta i granellini di sabbia, al torrente, che travolge le rupi, è un gran lavoro di demolizione su tutta la superfice dei continenti. Ma il detrito si arresta, in parte, in seno alla stessa corrente che lo trasporta; col brani dei continenti disfatti si formano nuovi terreni in seno alle acque, aventi, nella forma e nella distribuzione de' materiali di cui sono composti, i caratteri della loro origine. Così comincia un lavoro di riparazione, per mano dello stesso agente demolitore.

Gran parte del detrito in preda alle correnti raggiunge i vasti bacini, ove le correnti muojono. Quanta attività in que' mari, che coprono poco meno dei tre quarti della superficie terrestre! Se i fiumi vi hanno già deposte le loro rapine; il mare stesso irrompe contro i continenti che cadono a brani sotto l'impeto irresistibile. Il mare tutto ingoja. Ma nello stesso suo seno si esercita indefesso un grande magistero di riparazione. Il mare stesso distribuisce le sue prede, secondo il loro peso e il loro volume, e ne forma que' grandi letti di ciottoli, di ghiaje, di sabbia, di fanghi, che si sovrappongono regolarmente e tendono a colmarlo. Così ha luogo una delle più grandi creazioni dell' epoca attuale, i *delta*, per cui nuove terre nascono al piede dei continenti che si distruggono. All'azione delle onde, mosse dalla tempesta, si aggiunge l'azione delle *correnti di marea* e delle *correnti marine*. Queste rimutano continuamente gli oceani dall'uno all'altro polo, e da occidente ad oriente; l'acqua riscaldata sotto l'equatore porta i tepori alle ghiacciate regioni dei poli e ritorna a rinfrescare le regioni torride, intenta all'equa distribuzione del calore su tutta la superficie della terra. Così il mare, come l'atmosfera, influiscono sui climi, universalizzano la vita, esercitano un magistero di conservazione in favore delle piante e degli animali terrestri ed acquatici. L'acqua è il secondo generale agente modificatore fisico, chimico, meccanico, fisiologico.

I viventi, che popolano e terre e mari, non sono semplici parassiti, destinati a fruire gratuitamente di quest'ordine mirabile dell'universo. Alle piante è affidato specialmente un magistero di compensazione, che consiste nel mantenere all'aria quelle proporzioni di elementi, cui gli animali tendono ad alterare, e che costituiscono per tutti i viventi la prima condizione della vita. Gli animali, sparsi nelle acque in sì prodigiosa copia, che ogni goccia è una colonia, agiscono anch'essi, in modo veramente ammirabile, come compensatori. Un grande magistero di compensazione è singolarmente affidato agli animali secretori di sostanze lapidee. I coralli personificano, per dir così, un tale magistero, con cui si provvede, al presente non solo, ma anche al futuro. Abbiamo infatti veduto come ai continenti, che si sfasciano, anzi si sciolgono in mare, si oppone quasi un conato continuo di creazione di nuove terre, l'azione dei coralli. Le moli, che i coralli edificano in seno agli oceani, sono tali che, quando i continenti fossero distrutti, basterebbe sollevarle dalle onde, perchè la terra venisse rifatta di ciò che ha perduto.

Le reliquie degli animali, sepolti in grembo alla terra, che si ammucchiano sui fondi marini, che si mescolano ai detriti, ripartite secondo le abitudini, secondo i climi, secondo le condizioni fisiche della terra e del mare, ritraggono, per dir così, lo stato attuale del globo. I vegetali anch'essi, colmando le paludi, travolti dai fiumi, in seno ai mari, o guidati dalle correnti marine verso remote piaggie, formano enormi accumulazioni che si conservano allo stato di fossile combustibile.

L'acqua, cui vedemmo incaricata di un magistero così universale, ne esercita uno parziale, ma pure importantissimo, quando il freddo la riduce allo stato solido. I ghiacciai, trincerati negli alti recessi delle grandi catene, o stretti entro le cerchie, relativamente anguste, dei poli, esercitano ciò non ostante un potere modificatore grandissimo. Con lento, ma continuo moto scendono dalle Alpi: quasi lima smisurata, coll'incubo delle loro moli, rodono le rupi: le frane, rese più rovinose dai geli, si accumulano sui loro dorsi, quindi spariscono nelle loro viscere: in fine, tutto il detrito, rigettato dal ghiacciajo, ove disgela, o si scagliona a terrazzi sui fianchi dei monti, o forma le colossali morene allo sbocco delle valli, salvo il più fino, che, in preda al torrente nutrito dal ghiacciajo, va a crescere le alluvioni del piano, e di valle in valle si spinge fino al mare. Dalle cerchie polari, ove, come su più vasto teatro si esercita la potenza de'ghiacciai, si spiccano le montagne galeggianti, sperperando il detrito sui fondi più lontani dell'Oceano.

Così lavorano le forze esogene. Così la natura, mettendo in giuoco i diversi elementi tellurici, con una mano degrada le solide masse continentali, coll'altra ricompone il detrito e riedifica le terre in grembo alle acque. Così il mondo, con assidua vicenda, si rinnovella. La degradazione, come la ricomposizione, risultano di fatti molteplici, e sono que'fatti permanenti, che rimangono testimonî delle passate vicende.

Un immenso lavorio si compie intanto nell'interno del globo. Gli occulti agenti, che vi si adoprano, rilevansi per una serie infinita di esterne manifestazioni.

Di tratto in tratto la terra si scuote, traballa, e quasi minaccia di crollare dalle fondamenta. L'esterna scorza è in preda a un tremito convulso sovra immense estensioni: si spezza, si sposta. Gl'interni agenti si rivelano ancor più con quelle emanazioni gazose, così numerose, così varie, che accusano sopra tutto l'azione chimica, per cui l'interno del globo fu paragonato ad un laboratorio immenso. Le mofette, le fontane ardenti, i soffioni boraciferi, le stufe, appajono come il prodotto di un numero infinito di storte.

L'acqua, che ci apparve tra i primarî agenti alla superficie del globo, esercita pure, e forse con possa maggiore, il suo impero nell'interno. Le acque filtrano, circolano sotterra, fino a profondità indefinite, e ritornano, sotto forma di sorgenti, cariche delle spoglie dei mondi sotterranei. Cominciano a dirci, ciò che per altro l'esperienza ci ha già dimostrato, che il calore interno cresce colla profondità. Ci offrono quindi un numero infinito di minerali ammaniti, per virtù sua, in grembo alla terra. Quei minerali stessi depongono in forma di stalattiti, di travertini, di pisoliti, e ne incrostano e cementano i corpi sul loro passaggio. Ingenti masse di calcare, di ferro, di selce, si depongono per questa via sulla superficie del globo.

Ma ai vulcani spetta la piena manifestazione delle forze endogene. Già i vulcani di fango rigettarono solidi impasti, edificando arcipelaghi o catene di monti; ma i veri vulcani fanno ben altro. Dalla terra squarciata, fra i tremiti e i muggiti, si slancia, quasi da immensa caldaja, il mostruoso pino, che, sciogliendosi in torrenti di pioggia, ci mostra quanta parte abbia l'acqua nei fenomeni interni. È la stessa acqua, che allo stato di vapore, trae seco a brani le viscere della terra, lanciandole sulla superficie, in

forma di bombe, di scorie, di pietre, di lapilli, di sabbie e di ceneri. Ecco dalle fauci dei vulcani riversarsi correnti di lava infocata. Sono fluide miscele di cristalli, composti di silicati. Una serie di difficili indagini ci ha persuaso che quei *magma acquei cristallini* sono il prodotto di quell'acqua stessa, che da loro si svolge: sono il risultato di un potere solvente universale, di cui l'acqua si arma, quando è stretta in forzato connubio col calore interno, così alto, che tutte le sostanze escono allo stato incandescente. I materiali eruttati si accumulano all'ingiro dell'orifizio, e si levano gli immensi coni, fino a sovrastare alle più eccelse cime del globo. Se i delta e i banchi corallini sono le più grandi creazioni degli agenti esogeni; i coni vulcanici lo sono degli agenti endogeni.

Intanto un segreto, ma non meno immenso, lavoro si compie. Le emanazioni gazose, le sorgenti minerali, i vulcani stessi, nelle regioni perimetriche, o dormenti allo stato di solfatare, lavorano a riempire le crepature, di cui la crosta del globo, in preda a continue convulsioni, è tutta reticulata. Così si ripongono, anche attualmente, parte alla superficie, parte nell'interno, i solfi, i ferri, gli spati, i quarzi, e tutti i geniali prodotti della sublimazione, in forma di limpidi cristalli.

Un processo d'ordine diverso ha origine dall'antagonismo tra i vulcani ed il mare. I vulcani non si sfogano soltanto nelle regioni aeree, ma anche nelle profondità sottomarine. Anche laggiù le lave si espandono, e se la mediocre pressione il consente, si forma il detrito vulcanico, che ricade, si accumula, e ne sorgono isole e arcipelaghi. Ma il mare infierisce contro le moli inferme; le demolisce; e i prodotti de' vulcani fa suoi, convertendoli in sedimenti, i quali non lasceranno di portare i contrassegni della loro doppia origine.

Se poi badiamo ai rapporti dei vulcani e di tutte le manifestazioni endogene fra loro, eccoci una nuova serie di rivelazioni. I vulcani attuali sommano presso a 500. Formano un gran sistema lineare tracciato all'ingiro del globo, che delinea in certo qual modo il perimetro dei continenti, tenendosi sui limiti tra i grandi rilievi e le grandi depressioni, e svolgendosi paralleli alle grandi catene. Non può dubitarsi adunque, che i vulcani non rappresentino un gran sistema di sfiatatoi, di crepature della crosta terrestre. Essa dunque si ruppe nelle epoche andate per determinare questo grande sistema di vulcani; e si può già legittimamente sospettare, che i rilievi e le depressioni della superfice terrestre siano stati prodotti da oscillazioni, che produssero e conseguirono le rotture.

Alla gran zona de' vulcani, a codesto sistema di grandi spiragli, si lega un sistema infinitamente vario e numeroso di spiragli minori, per cui trovano uscita le emanazioni gazose e le sorgenti termo-minerali. Tutto rivela finalmente un intenso calore interno, che tiene in moto continuo tutte le forze fisiche, chimiche e meccaniche, per cui una vita perenne nell'interno del globo, e una catena interminabile di intestine rivoluzioni.

Ma la più grandiosa manifestazione delle forze endogene ha luogo indipendentemente dai vulcani e dalle altre secondarie manifestazioni.

Abbiamo veduto come, in regioni dove i vulcani sono ignoti, la terra oscilla, si alza, si abbassa, con moto continuo del pari che lento. Ormai possiamo tenerci sicuri che, non solo la Danimarca, la Scandinavia, la Groenlandia, ma tutte la plaghe del globo oscillano o nell'uno o nell'altro senso. Si direbbe che un sistema grandioso di palpitazione, accusi la vita universale da cui è animato il pianeta. Già possiamo supporre che da tali oscillazioni siano prodotte le rotture, da cui si sfogano i vulcani, da cui emanano le sostanze gazose, e per cui s'intrattiene quella vasta circolazione

Digitized by Google

dell' acqua, dal cui connubio col calore interno dipende, come da prima causa, la vita interna del globo.

Così la dinamica terrestre ci pose sott' occhio le cause, per cui la terra, e dentro e fuori, è soggetta a continue modificazioni. Gli effetti che ne vedemmo conseguire sono quei fatti permanenti, che si operano sotto ai nostri occhi, e che ci devono guidare, per via di confronto coi fatti di cui non fummo testimonî, a scoprire le cause che agirono in passato, a rifare la storia del globo. Avviati così sulle orme del passato, ogni monte, ogni masso, ogni ciottolo, ogni granello di terra, ha una cronaca da raccontarci. La natura dei minerali, la loro disposizione, le loro associazioni, i fossili contenutivi, i mille accidenti che si palesano all' osservazione, tutto ha acquistato un linguaggio, che dal geologo è inteso, e tradotto in una lingua intelligibile a tutti.

Passando all' esame di que' fatti, cioè allo studio della geologia propriamente detta, ci accorgemmo ben tosto, che le rocce, e le formazioni che ne risultano, possono distinguersi in due grandi gruppi. Nel primo gruppo si collocano, per communanza di caratteri, rocce e formazioni di diversa natura, molte semplici, molte aggregate. Quelle formazioni sono stratificate e contengono reliquie soprattutto di animali acquatici in gran copia. Nessuno può dubitare che non siano antichi fondi di fiumi, di laghi, di estuarî, di mari. Ora sono terre e montagne. Nel secondo gruppo figurano rocce e formazioni cristalline, anzi ammassi di cristalli, non stratificati non fossiliferi, caratteri che escludono assolutamente l' idea della loro origine sedimentare. Fermandoci ai terreni del primo gruppo, trovammo che a loro è confidata la parte più importante della storia della terra. Gran fatto è codesto, che i nostri continenti furono un giorno aree sommerse sotto quelle acque, che coprono attualmente quasi i tre quarti della superficie del globo! Ci domandammo: perchè ciò che era mare un giorno, è terra al presente? Le forme stratigrafiche, le sinclinali e le anticlinali, i salti, gli strati talora concordanti, talora discordanti, i fossili, mille accidenti insomma, risposero alla nostra domanda e ci dissero: Le nostre terre erano un giorno sommerse: la crosta terrestre, in preda a continue oscillazioni, si ruppe in mille luoghi, a mille riprese, qui sollevossi, là si abbassò; i nostri continenti non sono che porzioni della crosta terrestre, coperte già dai primitivi oceani, ed ora emerse per un finale sollevamento. Mano mano che le terre emergevano, gli agenti degradatori si adoperavano a demolirle. I monti e le valli, le terre ed i mari, sono quanto uscì da questa lotta tra gli agenti demolitori e gli agenti riparatori. L' orografia è la risultante del sollevamento e della degradazione dei continenti.

Quella congerie di fatti, i quali ci svelavano il passato, quasi i brani di un codice antico lacerato e disperso a minuti brandelli, andava ordinato, perchè divenisse una storia. Spontaneo ci si offerse il primo dato fondamentale di una cronologia geologica. Se gli strati sono fondi subacquei sovrapposti, l' ordine della loro sovrapposizione risponde all' ordine della loro successione. Nulla di più facile che il leggere la storia del passato su questo codice esattamente scritto e impaginato dai secoli, dagli anni, dai giorni, dalle ore. Ma il lavoro del tempo era stato sturbato dal tempo. Le masse stratificate giacciono sulla superfice asciutta del globo, come le macerie di un edificio crollato e rifatto le mille volte. Alla stratigrafia, per buona ventura, soccorse la paleontologia, cresciuta al punto da venir considerata ormai come l' unica base della cronologia geologica.

La più gran conquista della geologia moderna è appunto questo gran fatto: che le reliquie organiche, le quali si scoprono ugualmente in tutti gli strati terrestri, sono però diverse per ciascun strato, od almeno per ciascun gruppo di strati. Ai diversi livelli

della serie stratigrafica rispondono faune e flore diverse. Queste faune, queste flore, divengono caratteristiche infallibili degli strati deposti nelle diverse epoche: i fossili sono divenuti le *medaglie della creazione*, poichè in ciascuna epoca la natura adoperò diverso stampo, per coniare gli animali e le piante, destinati a popolare le terre ed i mari, che si andavano di continuo rimutando. Ogni strato ci narra ora la cronaca del suo tempo, e tutti insieme ci raccontano la storia del globo.

Nello studio degli strati, riordinati giusta la loro originaria successione per mezzo della paleontologia stratigrafica, consiste la prima parte della geologia, cioè la *stratigrafia*, esposta nel secondo volume di quest' opera. Ai terreni azoici, ove appajono così oscuri i primordî dell' organizzazione e dell' animalizzazione, si sovrappongono i paleozoici: il siluriano, ove compajono le faune primordiali, così povere e così ricche ad un tempo, come quelle a cui sono estranei i vertebrati, mentre così copiosi di tipi, così varî di forme, così ragguardevoli di mole, vi trionfano gl' invertebrati, il devoniano e il carbonifero, in cui i vertebrati compajono, anzi trionfano, ma ristretti all' ordine infimo, ai pesci, a cui scarsi, ed appena negli ultimi periodi, si associano i rettili. I rettili si moltiplicano coi terreni del trias, ma toccano il loro apogeo coi giuresi, ove si associano agli uccelli che già apparvero nel trias, e con quei primi mammiferi abortivi, che resero così interessanti gli strati dell' oolite. Siamo ai terreni cretacei, i quali ci presentano quasi unicamente mari. Ma ciò non pertanto la vita è in progresso; e vengono i terreni terziarî a mostrarci anch' essi una serie di epoche, in cui le faune e le flore avevano ormai raggiunta quell' altezza cui tengono al presente. I terreni quaternarî finalmente ci mostrano, colle reliquie di molte specie estinte, quelle ben anche dei progenitori delle specie viventi, finchè per la prima volta, e negli strati più recenti, più superficiali, sono stampate le orme di quella creatura, venuta a dominare la terra, piuttosto che colle forze fisiche dell' organismo, coll' impero dell' intelligenza e della volontà. Così vedemmo le cento volte rinnovarsi la faccia del globo, e le cento volte rinnovarvisi gli animali e le piante, dominarvi pel corso d'un epoca più o meno lunga, e spegnersi, senza lasciare posterità. Riunendo sotto un sol punto di vista le vicende del globo, scritte e particolareggiate su quei tanti milioni di fogli lapidei, componenti quella porzione di terra, che è d'origine sedimentare; noi troviamo che, a partire dall' epoca azoica, per giungere al termine della creta, sulle nostre aree continentali teneva il mare l'impero. Per via di continue oscillazioni, le terre, rade ed effimere, comparivano e scomparivano, come le nubi che appajono e si sfanno nel sereno del cielo. Il mare restava sempre vincitore e le nostre aree continentali si andavano continuamente deprimendo. Coll' epoca terziaria cominciano le terre, sempre sulle attuali aree continentali, a pigliare il sopravento. I nostri continenti sbucciano dal mare, si alzano, si dilatano, si fanno grandi, finchè si collocano sulle immense attuali loro basi. Certo altri continenti scomparivano, mano mano che apparivano i nostri. Come i nostri continenti rappresentano antichi mari, così i nostri mari rappresentano antichi continenti.

Questa è in compendio la parte di storia, narrata dalla *stratigrafia*. Ma essa non ci guida che alla metà del cammino. La stratigrafia ci afferma le oscillazioni del globo, ma non ce le spiega. Essa inoltre si arresta ammutolita davanti ai colossi cristallini componenti i più alti rilievi del globo: nulla sa dirci dei tesori metallici nascosti entro le viscere della terra: nulla di tanti altri fenomeni, che ci si offrono allo sguardo sopra immensa estensione, appena portiamo il piede fuori dei dominî dei terreni sedimentari. Ma la stratigrafia s' innoltrò quasi unicamente per la via dei confronti tra i fatti geologici cogli effetti prodotti attualmente dalle forze esogene. Spetta all' *endografia* il

guidarci fino alla meta, mutando uno dei termini di confronto, paragonando, cioè, i fatti geologici cogli effetti prodotti attualmente dalle forze endogene.

Pigliammo anche qui le mosse dallo studio delle formazioni massicce, che escludono l'origine sedimentare. Ci accorgemmo ben tosto che, per la maggior parte, quelle masse cristalline, diremo meglio, quegli impasti di cristalli, sono lave... lave antiche, che affermano antichi vulcani, passate manifestazioni di una attività interna, sempre perenne in tutte le epoche del globo.

Quegli ammassi cristallini, graniti, sieniti, porfidi, serpentini, basalti, trachiti, sono lave. Ce lo disse la loro struttura cristallina; ce lo ripeterono gli interclusi brani, strappati dalle viscere della terra; le rocce a contatto, fuse, diasprizzate: le condizioni di giacimento; i minerali sublimati nei crepacci, formanti antichi sistemi perimetrici di antichi vulcani.

Come le aree nostre continentali erano fondi marini, così i vulcani, erumpenti su queste aree, erano vulcani sottomarini. Come apparivano a volte a volte bassi fondi e terre; così di tratto in tratto i vulcani divenivano subaerei, terrestri o insulari. Se gli antichi mari pigliavano di continuo il sopravvento sulle antiche terre, dovevano ugualmente prevalere sugli antichi vulcani, le cui effimere moli venivano rôse, diroccate, ingojate dalle onde. Così le antiche rocce cristalline ci rappresentano tutte le transizioni, dalle lave sottomarine compatte alle lave subaeree, bollose e scoriacee: così furono distrutti gli antichi apparati vulcanici; sicchè, a partire dai terreni più recenti, per discendere ai più antichi le lave non ci si presentano che sotto le forme del dicco, dell'espandimento o del detrito, rimestato dalle onde, e spesso trasformato in terreno sedimentare.

Riconosciuto le rocce cristalline essere lave, e avuta fra mano quella serie immensa di prodotti, che sono altrettanti saggi dell'attività interna del globo in tutti i tempi; abbiamo potuto metterci più addentro nei misteri della vita interna e domandare alla natura, quali agenti mette in giuoco per la formazione delle lave? L'osservazione e l'esperienza furono unanimi nel rispondere, che in tutti i tempi le lave ebbero origine dalla azione potente, che l'acqua, circolante nell'interno del globo, e portatavi ad alte temperature, sotto forti pressioni, esercita sui silicati di cui è composta la quasi totalità della massa solida del globo. Se il fuoco, come era inteso dagli antichi, operando per via secca, sulla superficie della terra, fonde i silicati; il fuoco, come è inteso dai moderni, operando per via umida, nelle profondità terrestri, li cristallizza. La terra è un grande apparato di Daubré. Le lave ne escono allo stato di magma acquei, già granulati, già cristallizzati. La loro vetrificazione è fenomeno affatto eccezionale, assolutamente esterno.

A quelle immense emissioni di lave nelle epoche andate, sono forse da attribuirsi le oscillazioni del globo?... Così si credeva. Ma i vulcani sollevano forse al presente?... perchè avrebbero sollevato nei tempi passati? Lo studio del giacimento delle rocce eruttive, cioè dei loro rapporti colle rocce sedimentari, ci mostra che le lave non sollevarono mai; che esse eruppero, quando la crosta della terra, rompendosi, ebbe loro aperta l'uscita; che le lave, anzi che operare i sollevamenti, tennero dietro, come l'effetto alla causa, alle oscillazioni del globo.

Perchè dunque la crosta del globo oscillò e oscilla continuamente?.. Come già la *dinamica terrestre*, così ora l'*endografia* ci afferma l'esistenza di un calore centrale, attivo ugualmente in tutti i tempi, che non è quindi un semplice calore iniziale, ma un calore, la cui produzione è perenne. L'antagonismo degli interni elementi, le forze chimiche cioè, che operano senza posa, ci danno una ragione sufficiente del continuo

svilupparsi del calore nell' interno del globo, quasi in seno a una massa in fermentazione. Questo calore, che di continuo si produce, è anche soggetto a continui squilibrî. Se qui si perde, là si accumula. Ove si accumula, dilata: i processi chimici vi divengono più attivi. Finale risultato è l'aumento di volume delle masse sotterranee; quindi reazione contro la scorza esterna; quindi rottura e sollevamento. La depressione invece avrà luogo dove la forza del calore si scema. Le masse esterne squilibrate, rotte, scomposte, reagiscono l'una su l'altra; quindi sviluppo di pressioni laterali: per cui le stesse masse, reagenti fra loro, si schiacciano, si stirano, si ripiegano, presentando in ultimo quel sistema di curve sinclinali e anticlinali, sulle quali si affisa meravigliato lo stratigrafo.

Tutti questi fatti grandiosi si presentano in globo al geologo, che sente anche qui il bisogno di ordinarli cronologicamente, per rifare quest' altra parte importantissima della storia del pianeta. Ordinare cronologicamente le masse eruttive, è ordinare cronologicamente le rivoluzioni interne del globo, per via delle loro esterne manifestazioni. La cronologia endografica, di cui tentammo dare un saggio, è ancora allo stato embrionale; ma molte e chiare sono le tracce, per proseguirne lo studio e condurlo a maturanza. I dicchi, gli espandimenti, i frammenti interclusi, il metamorfismo di contatto, sono altrettanti dati, per cui le rocce eruttive sono poste in rapporto cronologico fra loro, e, ciò che val meglio, coi terreni sedimentari. Così i dati della cronologia stratigrafica, già così avanzata, si trasformano in altrettanti dati della cronologia endografica. Quando questa avrà progredito tanto, quanto l' altra avanzossi; potremo dire d'avere quasi completa la storia del globo.

Nei limiti attuali della cronologia endografica, abbiamo però già potuto assicurarci che in tutte le epoche del globo, le oscillazioni furono sempre accompagnate da eruzioni vulcaniche. Nelle epoche più antiche le lave si effondono sui letti degli antichi mari, coprono gli strati già formati, e sono ricoperti dai nuovi, rimanendovi interstratificati sotto forma di espandimenti. Se vulcani subaerei erompono, e si formano, per sovrapposizione del detrito, apparati vulcanici; il mare ripiglia il suo impero al cessare della eruzione. Gli immensi letti di lapilli, di ceneri, interstratificati, gli stessi sedimenti, composti o misti di materie vulcaniche, sono testimonî, che, fin dalle primissime epoche, il detrito vulcanico, o per immediata dejezione in mare, o per successiva demolizione degli apparati vulcanici, continuò a prestare i materiali della sedimentazione. Solo verso la metà dell' epoca terziaria, quando cominciarono a stabilirsi gli attuali continenti, cominciarono anche a levarsi sopra stabili basi i coni vulcanici. A quest' epoca rimontano i più antichi coni craterici, di cui sono irte le diverse regioni del globo; e di qui, con una serie di centinaja e di migliaja di vulcani spenti, arriviamo alle epoche più recenti, alle epoche storiche, e fino a noi, che possiamo numerare ancora a centinaja quei coni fumanti, che dal livello del mare si spingono acuminati fino all' altezza delle maggiori catene; possiamo assistere a quelle spaventevoli eruzioni, le quali ci dicono: che l'attività interna del globo è tutt' altro che stanca, tutt' altro che esaurita da un lavoro così colossale, in cui si esercita, con pari energia, da milioni di anni.

Come i sedimenti, così i terreni vulcanici, ci affermano che la natura fu sempre coerente a sè stessa, adoperando sempre le stesse forze, seguendo sempre le stesse leggi nel produrre quella infinita varietà di fenomeni, alla cui produzione la scienza ci permette di assistere fin dal principio del mondo.

Fin qui l' endografia non ci espose che i fatti più grandiosi. Altri fenomeni, come al presente, accompagnavano l' interna produzione delle lave e la loro emissione.

Digitized by Google

Anche allora, durante l'eruzione e nei lunghi intervalli di riposo, avevano luogo, attraverso le minori spaccature, in numero infinito, le emanazioni gazose, e tutte le secondarie manifestazioni della attività interna. Tutta la crosta terrestre, fin dove ci fu permesso di esplorarla, è percorsa da filoni, composti di ammassi cristallini, formanti quasi una immensa orditura, a cui tutti i secoli han posto mano. Ai molti minerali più o meno utili, si aggiungono i tesori dei metalli, di cui l'umana industria si è tanto giovata. I filoni, come i vulcani, attestano l'azione dell'acqua altamente riscaldata. I filoni sono divisi in sistemi corrispondenti ad altrettanti sistemi di spaccature, e hanno anch'essi la loro cronologia, in corrispondenza cogli strati sedimentari, in corrispondenza coi vulcani.

Altri tesori si adunarono, per diversa via, entro le viscere del globo. Il ferro, diluito in dosi infinitesimali nelle acque circolanti, si riuniva, formando immensi depositi, per virtù degli animali e delle piante. La selce era anch'essa deposta in grandi masse dagli antichi geyser, ovvero, diluita nelle acque, veniva anch'essa fissata in strati e in arnioni degli organismi. Bacini di mare, isolati in forza delle oscillazioni del globo, si convertivano, per virtù dell'atmosfera, in banchi di sal gemma. Ingenti masse di solfo venivano sublimate dalle antiche solfatare, o deposte dalle antiche sorgenti, o create dalla reazione delle sostanze organiche. Enormi masse di fango venivano rigettate, o dai veri vulcani, o dai vulcani di fango. Così la maggior parte delle formazioni, per cui è così vario il tessuto del globo, avevano trovato spiegazioni o nelle forze esogene, o nelle forze endogene, o nella associazione delle une colle altre.

Ci rimaneva però ancora una vasta lacuna da colmare. Certi terreni, il cui enorme sviluppo accusava un processo ben grandioso, e costituiva un fatto troppo importante per la storia del globo, non potevano immediatamente spiegarsi coll'applicazione di quei criteri, da cui avevamo desunto l'origine degli strati sedimentari, delle rocce cristalline o degli altri prodotti considerati finora. Quei terreni presentavano una singolare associazione dei caratteri tanto delle rocce sedimentari, quanto delle rocce eruttive. Se quelle rocce, quei micaschisti, quei talcoschisti, quegli schisti cristallini in genere, sono eruttivi; perchè sono stratificati e molte volte fossiliferi? E se sedimentari; perchè sono cristallini?

Noi non avevamo riflesso, che una roccia qualunque, una volta creata, non si è sottratta all'impero dei diversi agenti modificatori del globo, di cui fa parte: non avevamo riflesso, che quella roccia, travolta nel vortice che aggira tutti gli atomi componenti la terra, va a ritrovarsi successivamente in condizioni ben diverse da quelle, che determinarono la sua primitiva origine. Che altro dobbiamo attenderci pertanto, se non una metamorfosi perenne delle masse costituenti la parte solida del pianeta?

Esaminando più da presso quali siano le forze che debbono specialmente agire nel metamorfismo, trovammo che appartenevano ad entrambo i gruppi delle esogene e delle endogene, e che il metamorfismo doveva dividersi in esterno e interno. Il primo affetta le rocce durante la loro dimora nelle regioni superficiali; il secondo le perseguita nella loro discesa verso le regioni centrali, conseguenza della continua formazione di nuovi depositi sedimentari o eruttivi, alla superficie.

Il metamorfismo esterno comprende tutte le modificazioni, che noi abbiamo riferite alla erosione meteorica. Le rocce, sotto l'influsso dell'atmosfera, o meglio dell'acqua, dell'umidità superficiale, si decompongono, si scolorano, si rammolliscono, si disgregano. Il fenomeno della caolizzazione è, per dir così, la sintesi di questo primo modo di metamorfismo esterno.

Il raffreddamento delle rocce eruttive e il prosciugamento delle rocce sedimentari, determinano un secondo modo di metamorfismo, rappresentato dal *clivaggio poliedrico*, per cui tutte le rocce, più o meno distintamente, si dividono in poliedri più o meno regolari. I basalti colonnari sono il miglior tipo delle rocce che hanno subito tale metamorfismo. Per effetto della decomposizione poi, i poliedri si trasformano in sferoidi, che si dividono, quando le circostanze siano favorevoli, in strati concentrici.

Il metamorfismo interno è ancora più complicato, assai più varie essendo le condizioni di una roccia sepolta nelle viscere del globo e le forze che vi si sviluppano.

Anzi tutto una roccia, sprofondata nell'interno, sopporta una pressione, la quale va gradatamente aumentando, col graduato sovrapporsi di nuove formazioni. Effetto di tale pressione è lo schiacciamento, lo stiramento dalla roccia compressa, la quale, come uscita da un laminatojo, si presenta quasi composta di falde sovrapposte, flessuose, a superficie lucida, infine coi caratteri della schistosità. Questo *metamorfismo meccanico* è reso ancor più attivo dai movimenti della crosta del globo, dallo squilibrio delle grandi masse, per cui la laminatura si determina in tutti i sensi possibili, normalmente alla direzione della compressione.

Ma ancora più profonde, più sostanziali, sono le modificazioni, che le masse sotterranee vanno subendo, per effetto delle acque filtranti fin nelle ime profondità del globo. L'acqua, circolando, scioglie, esporta, importa, depone i minerali, di cui essa può impadronirsi nelle diverse condizioni di temperatura, di pressione, e col concorso dei diversi solventi. I minerali disciolti si combinano fra loro. Gli amigdali, le geodi, le vene, rappresentano un gran sistema di ricettacoli, ove da tanti secoli si raduna il prodotto di questo *metamorfismo d' infiltrazione* infinitamente molteplice. Per la stessa causa gli ammassi porosi e incoerenti sono conversi in rocce compatte e sode.

È però ancora ben più meraviglioso, ben più intimo, il lavoro di trasformazione delle acque filtranti. Esso penetra ovunque, ricerca ogni atomo, lo assale, lo trasforma così, che tutta la massa ugualmente si trasforma, in guisa da mentire un' origine affatto diversa da quella che ebbe realmente. Il *metamorfismo regionale* si compie nelle maggiori profondità, esigendo l'azione di una temperatura assai alta. Noi vedemmo così le rocce communi prendere la forma cristallina. Vedemmo i calcari e le dolomie convertiti in saccaroidi; i grès in quarziti; le argille in schisti argillosi. Da questi schisti argillosi vedemmo derivare, per ulteriore trasformazione, la varia, innumerevole famiglia dei micaschisti, dei talcoschisti, degli schisti amfibolici e dei cloritoschisti.

Così termina la rassegna delle diverse parti, di cui si mostra composta la scorza del globo: così ci siamo ingegnati di leggere su ciascuna quel brano della storia del pianeta, che vi fu scritto, con caratteri indelebili ai secoli, dai diversi agenti interni e esterni, ordinati a mantenerlo in vita, rimutandolo continuamente in sè stesso.

La storia del globo, che noi possiamo narrare, rimonta solo a una certa epoca. È un' epoca lontana, lontana assai, ma fissa: è l' epoca dei primi sedimenti. Le terre e i mari erano già divisi: le piante e gli animali già comparsi o prossimi a comparire. Da quel punto noi contiamo una serie di centinaja di rivoluzioni; o piuttosto una sola rivoluzione, che si va compiendo pel corso di tanti secoli, di cui forse l' epoca nostra non è che una fase passeggera. E invero quelle stesse modificazioni, che si operarono nel corso di tanti millenni, si compiono sotto i nostri occhi, di giorno in giorno, d' ora in ora, di minuto in minuto. Più indietro la vista finora non va.

La geologia ha attualmente i suoi confini. Confida di poterli oltrepassare: anela a figgere gli occhi ancora più profondamente nel passato. Ma per andare al di là di

quel punto, in cui si deposero i primi sedimenti, ha bisogno di altri argomenti; cerca altri criteri che finora non ha potuto scoprire. La geologia attuale ha la sua enorme pila di strati, che ha saputo ricomporre come i fogli di un libro scucito, e vi legge la storia delle rivoluzioni della materia e della vita. Anche la cronologia endografica non esiste, se non in quanto si riferisce alla cronologia stratigrafica. La storia del globo è adunque assai limitata: pare che essa non comprenda che un ultimo periodo di una storia immensa. Chi volle spingersi oltre i confini, che i più antichi sedimenti fissano al passato, trovossi smarrito tra le nebbie di qualche povera ipotesi.

No, la geologia non è giunta ai confini del tempo, come l'astronomia non ha trovato i confini dello spazio. Arriverà un giorno l'umana scienza a liquidare le sue partite colla umana intelligenza, che si strugge di sapere il primo perchè? Arriverà un giorno a sciogliere le grandi questioni delle origini? A toccare almeno, come dissi, i confini del tempo e dello spazio, che son pure finiti?.. Ma come mai, se le scoperte fatte non ebbero altro esito finora che di allontanare sempre più i limiti dell'uno e dell'altro? Più si dilatano i confini della scienza, e più si allontanano i termini dello scibile. Ogni noto è un gradino, che ci porta più in alto, a spingere più lontano lo sguardo desioso nei campi dell'ignoto. Così, da ciò che più ci induce a superbire, sempre più nuda sorte l'idea del nostro nulla, e cresce il sentimento della grandezza di Colui

Ch'è senza fine, e sè con sè misura.

FINE.

1? ... 1870

Digitized by Google

SOMMARIO

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

00563830

Digitized by Google

Paléontologie lombarde ou description des fossiles de Lombardie, publiée avec le concours de plusieurs savants par l'Abbé **ANTOINE STOPPANI.** — Milan, Imp. Bernardoni.

Quest' opera è destinata all' illustrazione di tutti i fossili scoperti in Lombardia, prendendo di mira, non solo la descrizione delle faune e delle flore fossili, ma anche i loro rapporti stratigrafici, in guisa che ne risulti una completa descrizione geologica delle regioni subalpine, in rapporto colla geologia generale.

Il metodo di pubblicazione adottato è quello di *monografie* per località, per terreni, od anche per gruppi zooloici, sicchè ogni *Serie*, ossia *Volume*, costituisca un' opera completa a sè.

Si pubblica per dispense, in 4.° grande, contenenti 3 tavole litografate, e il testo corrispondente. Una tavola di doppia dimensione è valutata come due. Prezzo di ciascuna dispensa 4 franchi.

Sono già uscite alla luce 44 dispense con 123 tavole. Le dispense pubblicate sono distribuite come segue:

I.ª Série. — *Les pétrifications d' Esino et de Lenna* par M. A. Stoppani, 11 livr. (completa).

II.ª Série. — *Les mammifères fossiles* par M. E. Cornalia 9 livr. (in corso di pubblicazione).

III.ª Série. — *Géologie et Paléontologie des couches à* Avicula contorta *en Lombardie* par M. A. Stoppani, 22 livr. (completa).

IV.ª Série. — *Fossiles des couches liasiques du calcaire rouge ammonitique* par M. J. Meneghini, 2 livr. (in corso di pubblicazione).